

BAB II

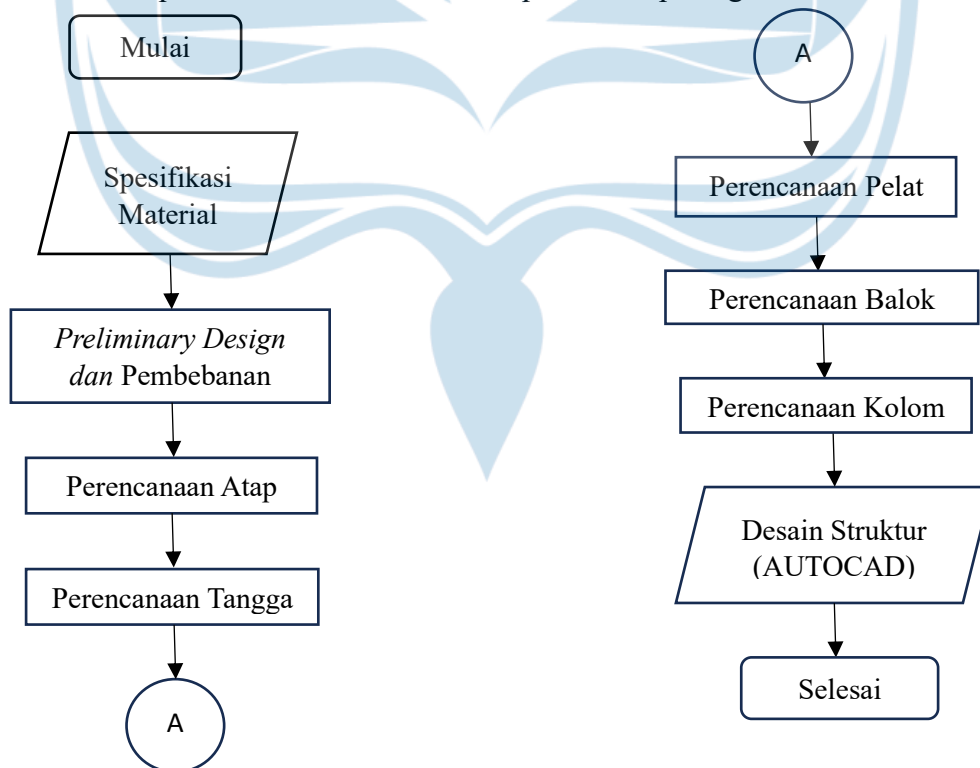
PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Pendahuluan

Struktur atas bangunan merupakan struktur yang terdapat atau terletak di atas tanah. Struktur atas terdiri dari: atap, tangga, pelat lantai, balok dan kolom. Perencanaan struktur atas menggunakan struktur beton bertulang pada elemen tangga, pelat lantai, balok serta kolom sementara untuk atap menggunakan struktur baja.

Perencanaan struktur atas untuk bangunan gedung kampus UNS ini menggunakan bantuan software ETABS untuk bagian atap, dan menggunakan bantuan software MIDAS untuk perencanaan tangga, pelat lantai, balok serta kolom. Dengan menentukan ukuran pelat, balok, dan kolom yang digunakan sesuai dengan syaratnya.

Alur perencanaan struktur atas dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Alir Perencanaan Struktur Atas

Dalam Perencanaan struktur atas, digunakan beberapa pedoman sebagai berikut :

1. SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.
2. SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Gedung Baja Struktural.
3. SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
4. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.
5. Spesifikasi Baja dari PT. Gunung Garuda.

2.2 Spesifikasi Material

Dalam perencanaan struktur atas, diperlukan spesifikasi material yang akan digunakan dalam suatu bangunan. Dibawah ini merupakan spesifikasi material yang digunakan untuk perencanaan struktur atas gedung kampus UNS:

1. Beton
 - a. Kuat tekan beton umur 28 hari, $F_c' = 30$ MPa (struktur atas)
 - b. Modulus elastisitas beton, $E_c = 4700\sqrt{F_c'} = 4700 \sqrt{30} = 25,743$ MPa
2. Baja Tulangan
 - a. Baja tulangan dengan $D > 12$ mm, digunakan baja tulangan ulir (*deform*) dengan tegangan leleh, $f_y = 420$ MPa
 - b. Baja tulangan dengan $D < 12$ mm, digunakan baja tulangan ulir (*deform*) dengan tegangan leleh, $f_y = 280$ Mpa
3. Baja Profil 2L
 - a. Baja profil yang digunakan adalah BJ 37 dengan tegangan leleh, $f_y = 240$ MPa dan tegangan ultimit, $f_u = 420$ MPa
 - b. Modulus elastisitas baja, $E_s = 200.000$ MPa

2.3 Preliminary Design

Preliminary design balok dan kolom bangunan adalah langkah pertama yang harus dilakukan dalam proses merancang struktur bangunan, di mana ukuran dan dimensi balok dan kolom ditentukan berdasarkan beban yang akan ditopang. Pada tahap ini, dimensi balok dan kolom masih perkiraan awal dan akan

diperbaiki dan diubah sesuai analisis lebih lanjut. Pada tahap *preliminary design*, dilakukan perhitungan untuk menentukan dimensi balok dan kolom yang dipertimbangkan untuk cukup kuat menahan beban yang diberikan. Beban ini dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk beban mati seperti bobot struktur sendiri, dan beban hidup seperti beban manusia dan barang-barang yang ditempatkan di atas bangunan.

Dalam *preliminary design* balok dan kolom bangunan, beberapa faktor yang harus dipertimbangkan antara lain kuat tarik dan tekan bahan yang digunakan, ketahanan terhadap gaya geser, serta hubungan antara balok dan kolom di bangunan. Setelah dimensi awal ditentukan, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis dan perhitungan yang lebih mendetail untuk memastikan bahwa struktur yang direncanakan cukup kuat dan aman.

Berikut ini merupakan contoh perhitungan preliminary design balok dan kolom:

a) Balok Induk :

$$\begin{aligned} - \text{ Tinggi balok} &= \frac{1}{15} \times \text{bentang balok} \\ &= \frac{1}{15} \times 5000 \text{ mm} \\ &= 333 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Lebar balok} &= \frac{2}{3} \times \text{tinggi balok} \\ &= \frac{2}{3} \times 400 \text{ mm} \\ &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

b) Balok Anak

$$\begin{aligned} - \text{ Tinggi balok} &= \frac{1}{16} \times \text{bentang balok} \\ &= \frac{1}{2} \times 3500 \text{ mm} \\ &= 218,75 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Lebar balok} &= \frac{1}{2} \times \text{tinggi balok} \\
 &= \frac{1}{2} \times 300 \text{ mm} \\
 &= 150 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

c) Kolom

$$\begin{aligned}
 - \text{ Dimensi kolom} &= \text{lebar balok induk} + 2 \times 50 \\
 &= 250 + 2 \times 50 = 350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tabel 2.1 akan menjelaskan rekap ukuran balok yang digunakan dalam perencanaan struktur kampus UNS

Tabel 2. 1 Dimensi Balok

No.	Kode	Dimensi
1	B1	400 X 600
2	B2	350 X 550
3	B3	300 X 450
4	B4	250 X 400
5	Ba1	200 X 300

Tabel 2.2 akan menjelaskan rekap ukuran kolom yang digunakan dalam perencanaan struktur kampus UNS

Tabel 2. 2 Dimensi Kolom

No.	Kode	Dimensi
1	K1	500 X 500
2	K2	450 X 450
3	K3	400 X 400
4	K4	350 X 350

2.4 Pembebanan

Langkah awal yang dapat dilakukan dalam perencanaan dan perhitungan struktur atas yaitu menentukan pembebanan yang terjadi. Dalam perencanaan pembebanan struktur ini terdapat 4 jenis beban yang akan terjadi yaitu beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin. Beban mati memiliki arti sebagai beban yang berasal dari berat struktur bangunan itu sendiri dan beban yang bersifat permanen. Beban hidup merupakan beban yang bersifat dinamis atau bisa berubah, salah satunya yaitu manusia. Beban gempa adalah beban yang terjadi pada struktur yang terjadi ketika ada pergerakan tanah akibat gempa. Beban angin adalah beban yang bekerja pada bangunan yang diakibatkan karena adanya pergerakan tekanan udara (Hendijaya, 2019).

2.4.1 Beban Mati Sendiri (DL)

Beban mati terdiri dari bahan konstruksi pada gedung yang dalam pemeliharaannya tetap. Pada penentuan beban mati untuk perancangan, berat material dan konstruksi aktual harus digunakan. Berat untuk bangunan memiliki berat yang berbeda-beda tergantung dari bahan bangunan yang akan digunakan. Pada penentuan berat bangunan penulisannya menggunakan pedoman PPIUG 1983. Tabel 2.3 – 2.4 merupakan berat sesuai ketentuan PPIUG.

Tabel 2. 3 Berat Sendiri Bangunan

Bahan Bangunan	Berat Volume (Kg/m ³)
Baja	7850
Batu Alam	2600
Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung (Berat Tumpuk)	1500
Batu Karang (Berat Tumpuk)	700
Batu Pecah	1450
Besi tuang	7250
Beton	2200
Beton Bertulang	2400
Kayu (Kelas I)	1000
Kerikil, Korol	1650
Pasangan Batu Merah	1700

Tabel 2. 3 Lanjutan Berat Sendiri Bangunan

Pasangan Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung	2200
Pasangan Batu Cetak	2200
Pasangan Batu Karang	1450
Pasir (Kering Udara Sampai Lembab)	1600
Pasir (Jenuh Air)	1800
Pasir kerikil, koral(kering udara sampai lembab)	1850
Tanah, Lempung dan Lanau (Kering Udara Sampai Lembab)	1700
Tanah, Lempung, dan Lanau (Basah)	2000
Timah Hitam	11400

Tabel 2. 3 Lanjutan Berat Sendiri Bangunan

Bahan Bangunan	Berat Volume Kg/m ³
Adukan per cm tebal :	
• Dari semen	21
• Dari Kapus, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14
Dinding pasangan batu merah	
• Satu batu	450
• Setengah batu	250
Dinding pasangan batako	
Berlubang	
• Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200
• Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120
Tanpa Lubang	
• Tebal dinding 15 cm	300
• Tebal dinding 10 cm	200
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari: • semen asbes (eternity dan bahan lain sejenis), dengan	11
tebal maksimum 4 mm	
• kaca, dengan tebal 3 – 4 mm	10
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	50
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan per cm tebal	24
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11

2.4.2 Beban Hidup (LL)

Beban hidup (*live load*) adalah beban yang terjadi akibat aktivitas didalam bangunan. Beban dapat berupa manusia ataupun benda-benda yang dapat dipindahkan atau orang yang dapat berpindah tempat. Beban hidup untuk minimum masing-masing struktur dapat dijabarkan pada tabel 2.4 yang menggunakan pedoman Tabel 4.1 SNI 1727:2013. Dalam pasal 4. SNI 1727:2013 dijelaskan bahwa tidak diperbolehkan beban merata minimum ditetapkan lebih rendah dari data nilai yang ada di Tabel 4.1 lalu beban hidup yang digunakan untuk perancangan harus memakai nilai maksimum dari beban hidup yang bisa di tahan oleh bangunan tersebut.

Tabel 2. 4 Beban Hidup Minimum SNI 1727 : 2013

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusatlb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses	50 (2,4)	2 000 (8,9)
-Ruang kantor	100 (4,79)	2 000 (8,9)
-Ruang komputer		
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18) ^a	
Ruang pertemuan		
-Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79) ^a	
- Lobi	100 (4,79) ^a	
-Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79) ^a	
- Panggung pertemuan	150 (7,18) ^a	
-Lantai podium		
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
-Lantai pertama	100 (4,79) sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
- Lantai lain		
Ruang makan dan restoran	100 (4,79) ^a	

Tabel 2. 4 Lanjutan Beban Hidup Minimum SNI 1727 : 2013

Helipad	60 (2,87) ^{a,c} tidak boleh direduksi	<i>a.f.g</i>
Rumah sakit:		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1 000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18) ^{a, h}	1 000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00) ^e	2 000 (8,90)
Berat	250 (11,97) ^e	3 000 (13,40)
Gedung perkantoran:		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2 000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2 000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2 000 (8,90)
Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, Kolam renang, dan penggunaan yang Sama	75 (3,59) ^e	
Bangsas dansa dan Ruang dansa	100 (4,79) ^e	
Gimnasium	100 (4,79) ^e	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79) ^{a,k}	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87) ^{a,k}	
Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)	10 (0,48) ^f	
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur Semua ruang kecuali tangga dan balkon Semua hunian rumah tinggal lainnya Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka Ruang publik ^e dan koridor yang melayani mereka		
Ruang makan dan restoran	100 (4,79) ^a	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in. x 2 in. [50 mm x 50 mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 1 in. x 1 in. [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)

Tabel 2. 4 Lanjutan Beban Hidup Minimum SNI 1727 : 2013

Jalur penyelamatan terhadap kebakaran Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4.5	
Garasi/Parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus	40 (1,92)	
Susunan tangga, rel pengamandan batang pegangan	Lihat pasal 4.5	
Helipad	60 (2,87) ^{de} tidak boleh direduksi	6.1.5
Rumah sakit:		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1 000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Kuang baca	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18) ^{a, n}	1 000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00) ^a	2 000 (8,90)
Berat	250 (11,97) ^a	3 000 (13,40)
Gedung perkantoran:		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2 000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2 000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2 000 (8,90)
Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, Kolam renang, dan penggunaan yang Sama	75 (3,59) ^a	
Bangsaii Dansa dan Ruang dansa	100 (4,79) ^a	
Gimnasium	100 (4,79) ^a	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79) ^{a, k}	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87) ^{a, k}	

Tabel 2. 4 Lanjutan Beban Hidup Minimum SNI 1727 : 2013

Rumah tinggal Hunian (satu keluarga dan dua keluarga) Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur Semua ruang kecuali tangga dan balkon Semua hunian rumah tinggal lainnya Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka Ruang publik ^a dan koridor yang melayani mereka	10 (0,48) ⁱ	
Atap Atap datar, berbubung, dan lengkung Atap digunakan untuk taman atap Atap yang digunakan untuk tujuan lain	20 (0,96) ^a 100 (4,79) Sama seperti hunian dilayani	1
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya Awning dan kanopi Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi 5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	200 (0,89)
Semua konstruksi lainnya Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gudang, dan perbaikan Garasi Semua komponen struktur atap utama lainnya Semua permukaan atap dengan beban pekerja	20 (0,96)	2 000 (8,9)
Pemeliharaan		300 (1,33)
Sekolah		300 (1,33)
Ruang kelas	40 (1,92)	1 000 (4,5)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,5)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,5)
Bak-bak/ <i>scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97) ^{a,p}	8 000 (35,6) ^e
Tangga dan jalan keluar Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	300 ^c 300 ^c

Tabel 2. 4 Lanjutan Beban Hidup Minimum SNI 1727 : 2013

Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat)		
Ringan	125 (6,00) ^a	
Berat	250 (11,97) ^a	
Toko		
Eceran		1 000 (4,45)
Lantai pertama Lantai diatasnya	100 (4,79) 75 (3,59)	1 000 (4,45)
Grosir, di semua lantai	125 (6,00) ^a	1 000 (4,45)
Penghalang kendaraan	Lihat Pasal4.5	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalankeluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79) ^a	

2.4.3 Beban Gempa

Penentuan beban gempa dimulai dari menentukan kelas situs tanah. Klasifikasi situs tanah dapat dicari menggunakan data tanah(SPT). Berdasarkan SNI 1726:2019, klasifikasi situs tanah merupakan kriteria design seismik berupa faktor amplifikasi yang ditentukan dari profil tanah. Profil Tanah ditinjau sampai kedalaman 40 m dari permukaan tanah. Klasifikasi kelas situs tanah untuk data SPT didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

Rumus mencari nilai N-SPT adalah $N = \frac{\sum di}{\sum Ni}$

Tabel 2.5 merupakan hasil rekap perhitungan kelas situs tanah

Tabel 2. 5 Kelas Situs Tanah

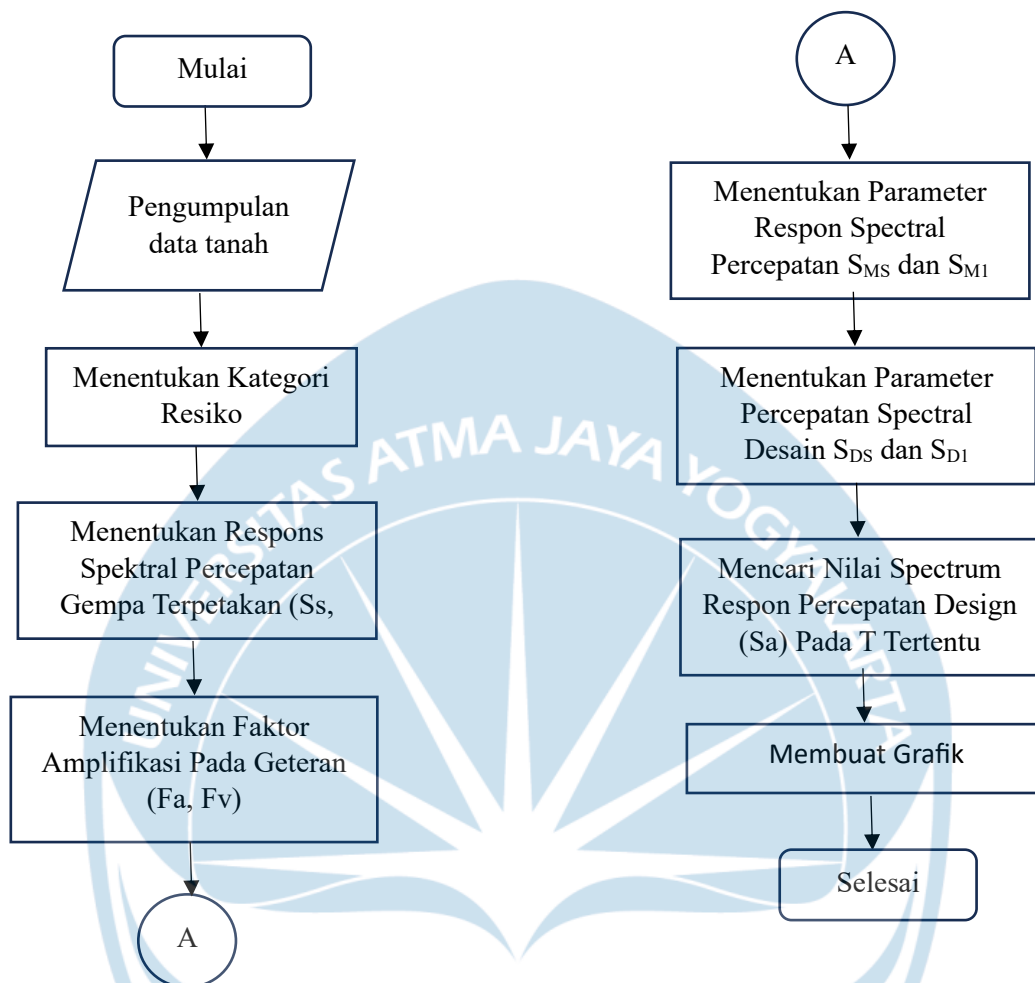
Kedalaman	N1	Di	Di/N1
0 sd 2	34	2	0.06
2 sd 4	49	4	0.04
4 sd 6	51	6	0.04
6 sd 8	52	8	0.04
8 sd 10	52	10	0.04

Tabel 2. 5 Lanjutan Kelas Situs Tanah

10 sd 12	54	12	0.04
12 sd 14	55	14	0.04
14 sd 16	55	16	0.04
16 sd 18	57	18	0.04
18 sd 20	59	20	0.03
20 sd 22	60	22	0.03
22 sd 24	60	24	0.03
24 sd 26	60	26	0.03
26 sd 28	60	28	0.03
28 sd 30	60	30	0.03
30 sd 32	60	32	0.03
32 sd 34	60	34	0.03
34 sd 36	60	36	0.03
36 sd 38	60	38	0.03
38 sd 40	60	40	0.03
	Σ	40	0.69

Dari hasil uji N-SPT yang dilakukan di lapangan, didapatkan nilai $N = 57.593$ dengan hasil tersebut, site proyek termasuk dalam klasifikasi situs SC (tanah keras). Data N-SPT lengkap dapat dilihat dalam laporan penyelidikan tanah.

Dalam menentukan beban gempa hal yang pertama harus diketahui yaitu lokasi dari bangunan, kelas situs berdasarkan data tanag dan fungsi bangunan. Berdasarkan fungsi bangunan ini berfungsi sebagai gedung Pendidikan. Berdasarkan SNI 1726:2019 maka gedung Pendidikan dikategorikan sebagai kategori resiko IV. Alur penentuan beban gempa dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Diagram Alir Penentuan Beban Gempa

a. Menentukan Kategori Resiko (I-IV)

Berdasarkan fungsi bangunan kategori resiko dapat ditentukan dari fungsi/jenis pemanfaatan dari bangunan tersebut. Menurut SNI 1726:2019, kategori risiko untuk bangunan dapat dibedakan menjadi 4 jenis yaitu kategori risiko I, II, III, dan IV (lihat Tabel 3). Pada proyek pembangunan Gedung kampus UNS ini, strukturnya termasuk pada kategori bangunan umum maka dari itu kategori risiko untuk Gedung kampus ini ditetapkan sebagai kategori risiko bangunan IV dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2. 6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Tabel 2. 6 Lanjutan Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Tabel 2.7 Merupakan faktor keutamaan gempa (I_e) yang sesuai dengan kategori risikonya (IV).

Tabel 2. 7 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

b. Menentukan Parameter Percepatan Tanah (S_s dan S_1)

Parameter pada percepatan tanah yaitu, (S_s dan S_1) tergantung pada tanah di lokasi proyek. Nilai S_s dan S_1 ini digunakan dalam menentukan respons spektral percepatan gempa MCER pada permukaan tanah, yang mana S_s dan S_1 berturut-turut merupakan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek dan periode 1,0 detik. Dalam pekerjaan pembangunan Gedung Kampus UNS ini, lokasinya berada di area Kota Solo maka digunakan nilai $S_s = 0.823$ dan $S_1 = 0.4000$ g.

c. Menentukan F_a dan F_v

Dalam menentukan respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan pada permukaan tanah, maka diperlukan faktor amplifikasi pada periode 0,2 detik (F_a) dan 1 detik (F_v). Faktor amplifikasi ini ditentukan dari kelas situs serta parameter percepatan tanah yang ada. Faktor amplifikasi pada periode 0,2 detik (F_a) dapat ditentukan oleh kelas situs tanahnya dan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 0,2 detik (S_s). Lalu untuk faktor amplifikasi pada periode 1 detik (F_v) ditentukan oleh kelas situs dan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik (S_1). Untuk penentuan koefisien situs (F_a dan F_v) berdasar pada Tabel 6 Dan 7 pada SNI 1726:2019. Tabel 2.8 dan 2.9 merupakan koefisien situs F_a dan F_v .

Tabel 2. 8 Koefisien situs Fa

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Catatan:

- Nilai-nilai untuk S_s , dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Tabel 2. 9 Koefisien situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_l					
	$S_l \leq 0,1$	$S_l = 0,2$	$S_l = 0,3$	$S_l = 0,4$	$S_l = 0,5$	$S_l \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Catatan :

- Untuk nilai-nilai antara S_l , dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Berdasarkan dari tabel 2.11 dan tabel 2.12, untuk kelas situs SC (tanah keras) nilai F_a dan F_v didapatkan berturut-turut 1,51 dan 2,05. Lalu selanjutnya, nilai F_a dan F_v tersebut digunakan untuk menentukan parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$SMS = F_a \times S_s = 0,52g$$

$$SM1 = F_v \times S1 = 0,6 \text{ g (pers 7 \& 8 SNI 1726:2019)}$$

d. Menghitung Parameter Design (S_{DS} dan S_{D1})

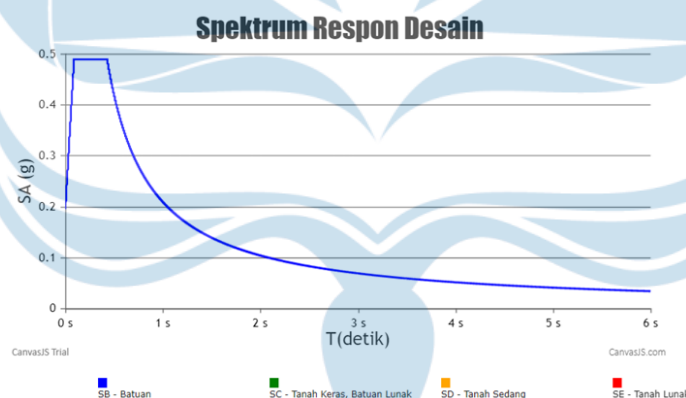
Untuk nilai SMS dan SM1 pada langkah sebelumnya sudah didapatkan nilainya. Maka selanjutnya nilai SMS dan SM1 tersebut, merupakan parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek 0,2 detik (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) perlu ditetapkan untuk menyusun kurva respons spektra. Nilai S_{DS} dan S_{D1} dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$S_{DS} = 2/3 \times SMS = 0,35 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 2/3 \times SM1 = 0,4 \text{ g (pers 9 \& 10 SNI 1726:2019)}$$

e. Membuat Grafik Kurva Respon Desain

Berdasarkan parameter respon *spectra* yang dihitung pada tahap sebelumnya, kurva respon spectra dapat dilihat pada gambar 2.3.

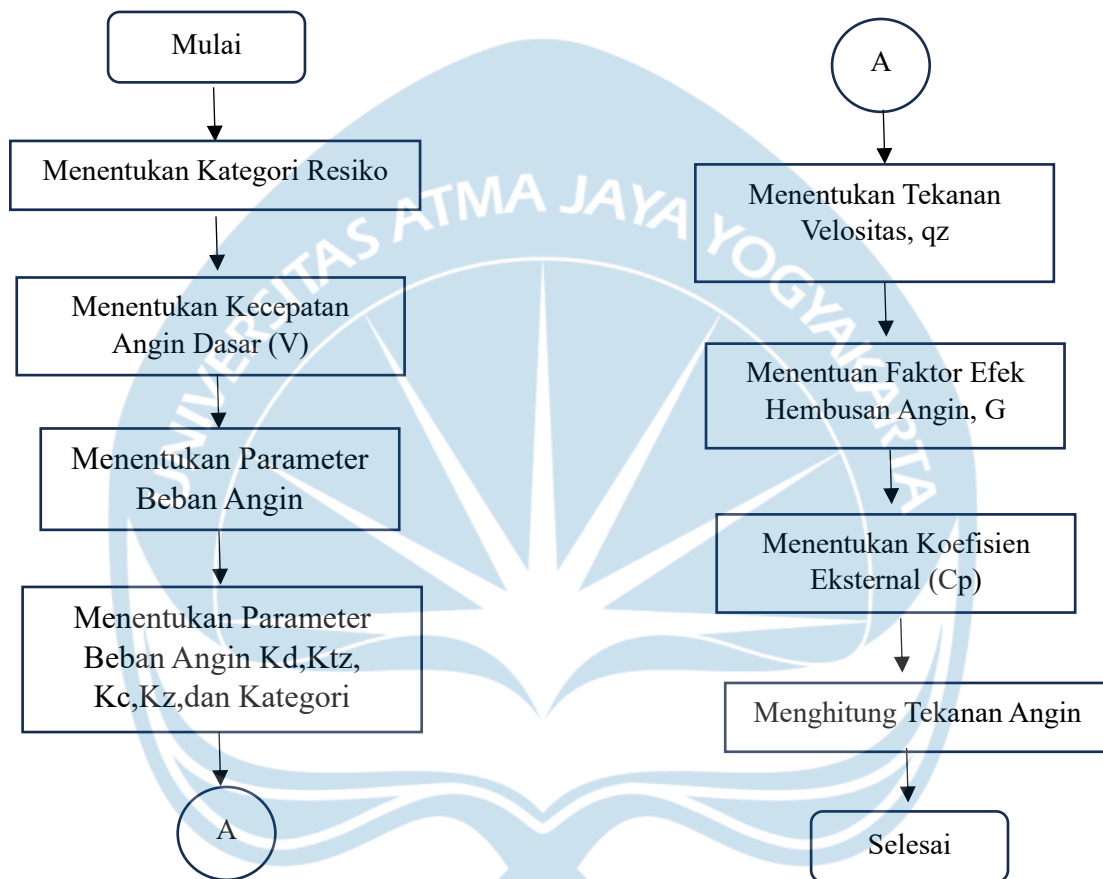


Gambar 2. 3 Kurva Spektrum Respon Desain

2.4.4 Beban Angin

Dalam perencanaan beban angin, hal yang harus diketahui yaitu lokasi bangunan itu sendiri , jumlah lantai, fungsi bangunan, tinggi dan lebar bangunan. Bnagunan ini berfungsi sebagai gedung Pendidikan yang berlokasi di kota Surakarta, Jawa Tengah. Bangunan ini terdiri dari 4 lantai. Tinggi bangunan 17,5 m dan lebar bangunan 35 m.

Pembebanan angin ini berpedoman pada SNI 1721:2020 terkait beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Alur penentuan beban angin dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2. 4 Diagram Alir Penentuan Beban angin

Penentuan kategori resiko berpedoman pada SNI 1727 : 2020. Dimana bangunan yang berfungsi sebagai gedung Pendidikan termasuk dalam fasilitas penting sehingga termasuk dalam kategori resiko IV. Kecepatan angin dasar (V) untuk kategori resiko IV sesuai dengan Buku Peta Angin Indonesia adalah 43,4 m/s

Dalam perencanaan beban angin ada beberapa parameter yang harus dicari, antara lain :

1. Faktor arah angin (K_d) : 0,85

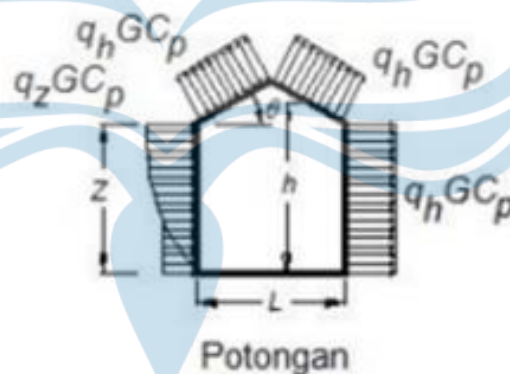
2. Kategori eksposur : eksposur B, yaitu daerah perkotaan dan pinggir kota, daerah berhutan tau daerah lain dengan penghalangan berjarak dekat seukuran tempat tinggal keluarga Tunggal atau lebih besar dengan jumlah banyak.
3. Kategori topografi (K_{tz}) : 1
4. Faktor elevasi permukaan tanah (K_e) : 1
5. Koefisien eksposur tekanan velositas (K_z atau K_h) : 0,77

Tekanan velositas dapat dicari dengan rumus sabagai berikut :

$$Q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d L_e V^2 (\text{N/m}^2)$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus diatas maka didapatkan nilai $q_z = 0,76 \text{ kN/m}^2$

Penentuan faktoor efek hembusan angin (G atau G_f) untuk bangunan gedung kaku boleh diambil sebesar 0,85. Dalam menentukan koefisien eksternal (C_p), perlu diketahui bentuk atap yang digunakan. Untuk atap pelana digunakan diagram tekanan angin seperti pada gambar 2.5.



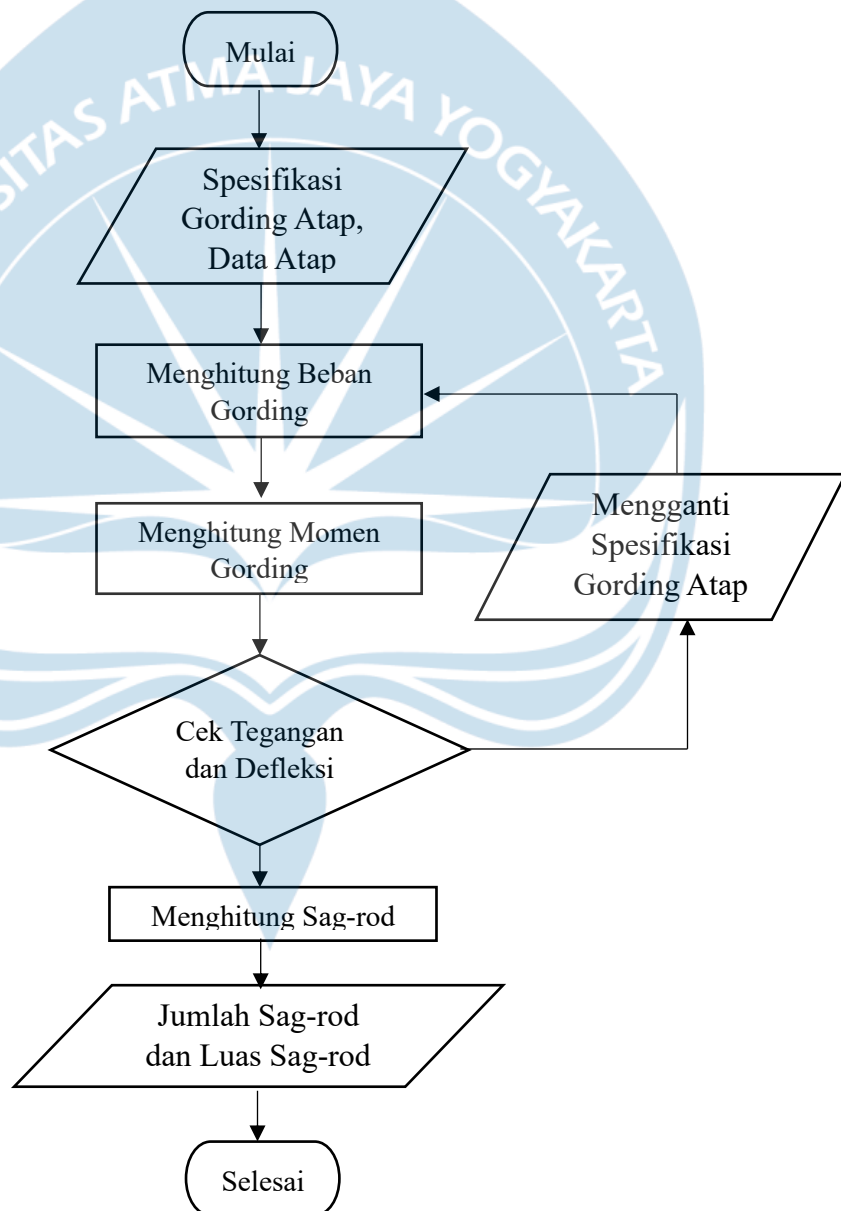
Gambar 2. 5 Koefisien Angin

2.5 Perencanaan Struktur Atap

Rencana struktur atap merupakan bagian yang penting karena fungsi dan estetika bangunan yang saling bersangkutan serta beban yang akan ditanggung oleh struktur di bawahnya. Dalam perencanaan atap perlu dipertimbangkan perencanaan gording dan perencanaan kuda-kuda. Denah rencana atap bangunan Gedung Kampus UNS dapat dilihat pada Lampiran Gambar AutoCAD.

2.5.1 Perencanaan Gording

Gording adalah suatu komponen atap yang terletak diatas kuda-kuda yang mana fungsinya untuk menopang beban yang terjadi pada atap. Material yang dipakai untuk membuat gording, yaitu material baja ringan. Prosedur perencanaan gording dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2. 6 Diagram Alir Perencanaan Gording

Pada perencanaan gording bangunan ini digunakan material baja dengan spesifikasi gording didapat dari spesifikasi Baja dari PT. Gunung Garuda dengan data atap dapat dilihat pada tabel 2.10

Tabel 2. 10 Data Perencanaan Atap

Parameter	Data
Kemiringan atap (α)	30°
Jarak Antar Gording (a)	2 m
Panjang Bentang	20 m
Jarak Antar kuda-kuda (L_1)	5 m
Modulus Elastisitas	200.000 MPa
Penutup atap	Genteng Metal
Mutu Baja Profil	BJ37 ($f_y = 240$ MPa, $f_u = 370$ MPa)
Gording	C 150 x 50 x 20 (t: 3,2 mm)

a. Perhitungan rencana gording

1. Data Atap Utama:

- Sudut Atap $\Theta = 30^\circ$
- Jarak antar kuda-kuda = 5 meter
- Berat profile kuda-kuda = 0,20 kN
- Berat atap genteng metal = 0,141 kN/m²
- Mutu baja $F_y = 240$ MPa

a. Data Gording:

- Jarak gording = 2 meter
- Berat gording (asumsi) = 0,07 kN/m

Beban DL gording :

- Berat Gording = 0,07 kN/m
- Berat Atap = 0,141kN/m
- Berat Plafond = 0,40 kN/m
- q-gording = 0,611 kN/m
- Beban LL (P) = 1,0 kN (P diambil dari beban pekerja)

b. Rencana momen gording:

Dilakukan perhitungan momen *ultimate* gording arah X dan Y dengan masing-masing kombinasi. Momen *ultimate* gording yang digunakan yaitu momen *ultimate* terbesar untuk arah X dan Y. Momen *ultimate* gording arah Y ($M_{2,U}$) dan X ($M_{3,U}$) yang digunakan untuk mendapatkan hasil tegangan yang terjadi (f_b) pada profil gording.

$$\begin{aligned}
 M_{3DL} &= 1/8 \times q \cdot \cos \alpha \times L^2 \\
 &= 1/8 \times 0,611 \cos 30^\circ \times 5^2 \\
 &= 1,654 \text{ kNm} \\
 M_{3LL} &= 1/4 \times p \cdot \cos \alpha \times L \\
 &= 1/4 \times 1 \cos 30^\circ \times 5 \\
 &= 1,083 \text{ kNm} \\
 M_{2DL} &= 1/8 \times q \cdot \sin \alpha \times (L/3)^2 \\
 &= 1/8 \times 0,611 \sin 30^\circ \times (5/3)^2 \\
 &= 0,110 \text{ kNm} \\
 M_{2LL} &= 1/4 \times p \sin \alpha \times (L/3) \\
 &= 1/4 \times 1 \sin 30^\circ \times (5/3) \\
 &= 0,361 \text{ kNm} \\
 M_{3U} &= 1,4 \times M_{3DL} \\
 &= 1,4 \times 1,654 \\
 &= 2,189 \text{ kNm} \\
 M_{3U} &= 1,2 M_{3DL} + 1,6 M_{3LL} \\
 &= 1,2 \times 2,102 + 1,6 \times 2,942 \\
 &= 3,718 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Dari dua kombinasi pembebanan diatas, dipilih nilai M_{3U} terbesar yaitu 3,718 kNm

$$M_{2U} = 1,4 \times M_{2D}$$

$$= 1,4 \times 0,110 = 0,154 \text{ kNm}$$

$$M_{2U} = 1,2 M_{2DL} + 1,6 M_{2LL}$$

$$= 1,2 \times 0,110 + 1,6 \times 0,361 = 0,709 \text{ kNm}$$

Dan dipilih juga nilai M_{2U} terbesar yaitu 0,709 kNm

c. Cek Tegangan Pada Profile C

Dimensi Gording C yang digunakan C150 x 50 x 20 x 3,2 dengan data:

$$I_x = 2.800.000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 280.000 \text{ mm}^4$$

$$W_x = 37.400 \text{ mm}^3$$

$$W_y = 8.200 \text{ mm}^3$$

Nilai ϕ (faktor reduksi) = 0,9 (Tabel 6.4-2 SNI 03 1729-2002)

Untuk memeriksa tegangan pada profil C (fb), maka digunakan rumus:

$$fb = \frac{M3U}{\phi \times W3} + \frac{M2U}{\phi \times W2} \leq Fy$$

$$= 3,718 / (0,9 \times 37400) + 0,709 / (0,9 \times 8200) \leq 240$$

$$= 0,0002065279 \times 1000000 \leq 240 = 206,5279 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa}$$

Dikarenakan $206,5279 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa}$, maka tegangan profile C sudah memenuhi syarat.

d. Cek Defleksi Gording

Defleksi gording (δ) didapat dengan mencari terlebih dahulu defleksi arah sumbu 2 (δ_2) dan defleksi arah sumbu 3 (δ_3).

$$\delta_2 = \frac{5}{384} + \frac{q \cos \theta (L)^4}{EI} + \frac{1}{48} \frac{P \sin \theta (L)^3}{EI} \quad ; E = 200000 \text{ MPa}$$

$$= 8,46 \text{ mm}$$

$$\delta_3 = \frac{5}{384} + \frac{q \cos \theta (L/2)^4}{EI} + \frac{1}{48} \frac{P \sin \theta (L/2)^3}{EI} \quad ; E = 200000 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
&= 3,05 \text{ mm} \\
\delta &= \sqrt{\delta_2^2 + \delta_3^2} \leq \frac{1}{240} L \\
&= \sqrt{8,46^2 + 3,05^2} \leq \frac{1}{240} \times 5000 \\
&= 8,087 \text{ mm} \leq 20,833 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Karena defleksi gording $8,46 \text{ mm} \leq 20,833 \text{ mm}$, maka defleksi gording aman.

e. Perhitungan sag-rod

Sag-rod merupakan sebuah batang penghubung antara satu gording dengan yang lainnya, yang mana berfungsi untuk mencegah melengkungnya suatu gording. Berikut merupakan hitungan gording:

$$\begin{aligned}
F_{tDL} &= n \left(\frac{L}{3} \times q \times \sin 50^\circ \right) \\
&= 12 \left(\frac{5}{3} \times 0,611 \times \sin 30^\circ \right) \\
&= 6,11 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{tLL} &= n \left(\frac{4}{2} \times \sin 50^\circ \right) \\
&= \left(\frac{12}{2} \times \sin 30^\circ \right) \\
&= 2 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Kombinasi beban:

$$\begin{aligned}
F_{tU} &= 1,4 \times F_{tDL} \\
&= 1,4 \times 6,11 = 8,554 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{tU} &= 1,2F_{tDL} + 1,6F_{tLL} \\
&= 1,2 \times 6,11 + 1,6 \times 2 = 10,532 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Maka yang dipilih $F_{tU} 10,532 \text{ kN}$

Luas Batang Sag-rod:

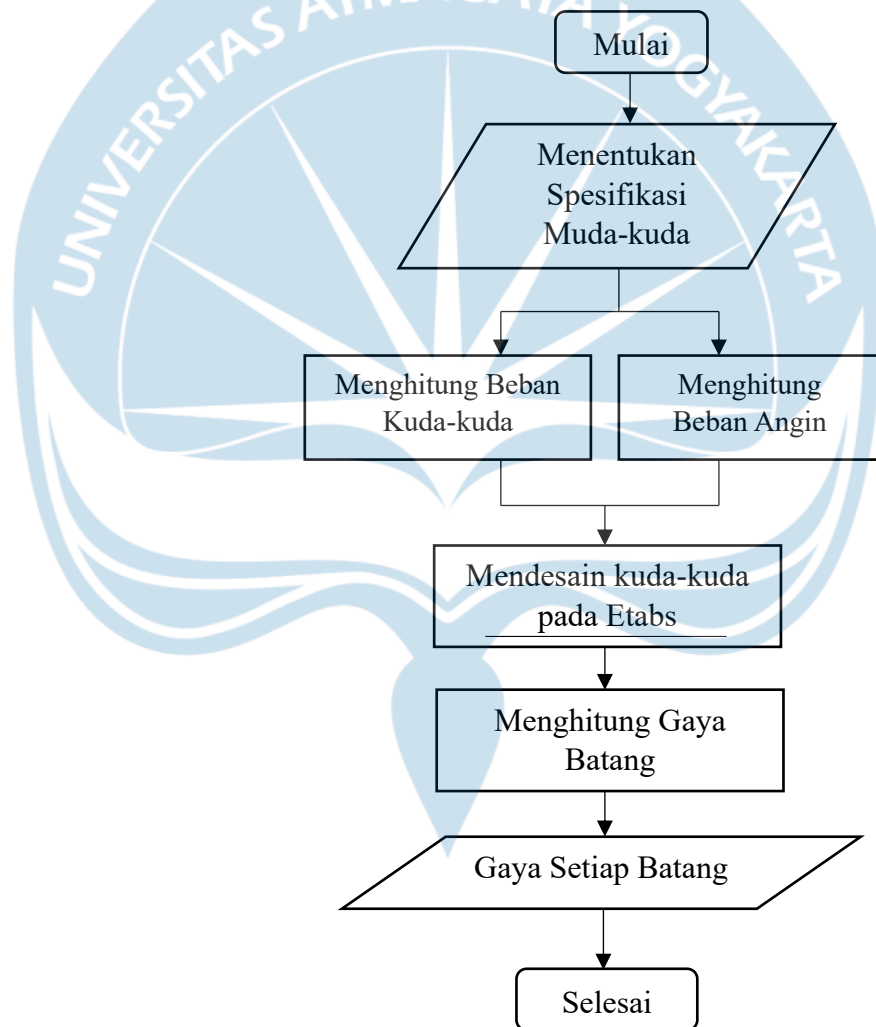
$$A_{sr} = \frac{F_t \cdot 10^3}{\phi F_y} = (10,532 \times 10^3) / (0,9 \times 240) = 48,7592 \text{ mm}^2$$

Luas sag-rod minimal $18,0313 \text{ mm}^2$. Berdasarkan perhitungan diatas, diameter sagrod 10 mm, 12 mm atau 16 mm dapat digunakan karena lebih besar daripada

luas sag-rod minimal yang diperlukan, tetapi digunakan diameter 10 mm karena berukuran paling kecil untuk meminimalisir pengeluaran biaya.

2.5.2 Perencanaan Kuda-kuda

Kuda-kuda atap rumah adalah suatu susunan rangka batang yang berfungsi untuk menyokong tekanan yang ada pada rangka atap serta menyalurkan suatu tekanan ke struktur bangunan yang ada dibawahnya. Dalam perencanaan kuda-kuda alur perencanaannya dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2. 7 Diagram Alir Perencanaan kuda-kuda

Berikut perhitungan beban yang terjadi dan yang akan dibebankan pada kuda-kuda dalam perencanaan struktur atap sebagai berikut:

a) Data Kuda-Kuda

Sudut Atap Θ = 30°

Jarak antar kuda-kuda = 5 meter

Berat profile kuda-kuda = 0,20 kN/m

Berat atap metal = 0,025 kN/m²

Tekanan angin = 0,98 kN/m

b) Beban kuda-kuda :

Beban P1, P2, dan P3 akan dihitung sesuai dengan jarak gording dan panjang gording (jarak antar kuda-kuda).

Beban P1

Berat Sendiri kuda-kuda = $\frac{a}{2}$ x berat kuda kuda

= $\frac{2}{2}$ x 0,5 = 0,2 kN

Berat Gording = L x berat gording per m

= 5 x 0,07 = 0,35 kN

Berat Atap = $(a/2+b) \cos 30^\circ$ x L x berat atap

= $(2/2+2) \cos 30^\circ$ x 4 x 1,2551 = 0,433 kN

Berat Plafond = $(a/2+b)$ x L x berat plafond

= $2/2+2$ x 5 x 0,20 = 3 kN

Total Beban P1 = Berat sendiri kuda-kuda + Berat Gording + Berat Atap + Berat Plafond

= 0,2 kN + 0,35 kN + 0,433 kN + 3 kN

= 3,983 kN

Beban P2

$$\begin{aligned}\text{Berat Sendiri kuda-kuda} &= 2 \times \text{berat kuda kuda} \\ &= 2 \times 0,20 = 0,4 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Gording} &= L \times \text{berat gording per m} \\ &= 5 \times 0,07 = 0,35 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Atap} &= a/\cos 30^\circ \times L \times \text{berat atap} \\ &= 2/\cos 30^\circ \times 5 \times 0,025 = 0,288 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Plafond} &= a \times L \times \text{berat plafond} \\ &= 2 \times 5 \times 0,20 = 2 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Beban P2} &= \text{Berat sendiri kuda-kuda} + \text{Berat Gording} \\ &\quad + \text{Berat Atap} + \text{Berat Plafond} \\ &= 0,4 \text{ kN} + 0,35 \text{ kN} + 0,288 \text{ kN} + 2 \text{ kN} \\ &= 3,038 \text{ Kn}\end{aligned}$$

Beban P3

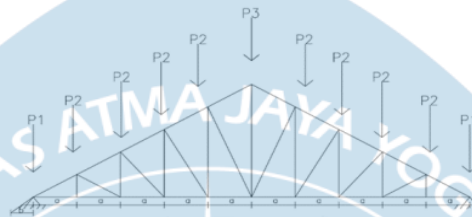
$$\begin{aligned}\text{Berat Sendiri kuda-kuda} &= 2 \times \text{berat kuda kuda} \\ &= 2 \times 0,20 = 0,4 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Gording} &= a \times L \times \text{berat gording per m} \\ &= 2 \times 5 \times 0,07 = 0,7 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Atap} &= a \cos 30^\circ \times L \times \text{berat atap} \\ &= 2 \cos 30^\circ \times 5 \times 0,025 = 0,288 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Plafond} &= a \times L \times \text{berat plafond} \\ &= 2 \times 5 \times 0,20 = 2 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Total Beban P3} &= \text{Berat sendiri kuda-kuda} + \text{Berat Gording} \\
&+ \text{Berat Atap} + \text{Berat Plafond} \\
&= 0,4 \text{ kN} + 0,7 \text{ kN} + 0,288 \text{ kN} + 2 \text{ kN} \\
&= 3,388 \text{ kN}
\end{aligned}$$



Gambar 2. 8 Rencana pembebanan kuda-kuda

b. Beban Angin

$$\begin{aligned}
\text{Beban W1} &= (a/2+b)/\cos 30^\circ \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
&= (2/2+2)/\cos 30^\circ \times 0,2 \times 5 \times 0,33 = 1,1431 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\text{Arah X} = \sin 30^\circ \times W1 = 0,5715 \text{ kN}$$

$$\text{Arah Y} = \cos 30^\circ \times W1 = 0,9899 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
\text{Beban W2} &= a \cos 30^\circ \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
&= 2/\cos 30^\circ \times 0,2 \times 5 \times 0,33 = 0,7621 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\text{Arah X} = \sin 30^\circ \times W2 = 0,3810 \text{ kN}$$

$$\text{Arah Y} = \cos 30^\circ \times W2 = 0,6599 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
\text{Beban W3} &= a/2 \times \cos 30^\circ \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
&= 2 / 2 \times \cos 30^\circ \times 0,2 \times 5 \times 0,33 = 0,3810 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\text{Arah X} = \sin 30^\circ \times W3 = 0,1905 \text{ kN}$$

$$\text{Arah Y} = \cos 30^\circ \times W3 = 0,3299 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
\text{Beban W4} &= a/2 \cos 30^\circ \times C_{is} \times L \times Q_w \\
&= 2 \times 2 \cos 30^\circ \times (-0,6) \times 5 \times 0,33 = -1,1431 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\text{Arah X} = \sin 30^\circ \times W4 = -0,5715 \text{ kN}$$

$$\text{Arah Y} = \cos 30^\circ \times W4 = -0,9899 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
\text{Beban W5} &= a / \cos 30^\circ \times C_{is} \times L \times Q_w \\
&= 2 / \cos 30^\circ \times (-0,6) \times 5 \times 0,33 \\
&= -2,2863 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\text{Arah X} = \sin 30^\circ \times W5 = -1,1431 \text{ kN}$$

$$\text{Arah Y} = \cos 30^\circ \times W5 = -1,9799 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
\text{Beban } W_6 &= (a/2+b) / \cos 30^\circ \times C_{is} \times L \times Q_w \\
&= (2/2+2) / \cos 30^\circ \times (-0,6) \times 5 \times 0,33 \\
&= -3,4294 \text{ kN} \\
\text{Arah X} &= \sin 30^\circ \times W_6 = -1,7147 \text{ kN} \\
\text{Arah Y} &= \cos 30^\circ \times W_6 = -2,9699 \text{ kN}
\end{aligned}$$

2.5.3 Perencanaan Sambungam Kuda-kuda

1. Kapasitas Atap

Berikut adalah rencana beban yang akan digunakan untuk dibebani pada kuda-kuda :

a) Profile 2L 75x75x6 - 8 mm.

$$\begin{aligned}
A &= 872,7 \text{ mm}^2 \\
L_x &= L_y = 46100 \text{ mm}^4 \\
I_x &= I_y = 23,0 \text{ mm} \\
C_x &= C_y = 20,6 \text{ mm} \\
T_p &= 8 \text{ mm} \\
\text{Konstanta torsi (J)} &= 10368 \text{ mm}^3 \\
\text{Modulus geser baja (G)} &= 77200
\end{aligned}$$

Properti Profil Gabungan

$$\begin{aligned}
A_g &= 2 \times 872,7 = 1745,4 \text{ mm}^2 \\
L_{xg} &= 2 \times 46100 = 92200 \text{ mm}^4 \\
L_{yg} &= \left(l_y + A_g \left(C_y + \frac{t_p}{2} \right)^2 \right) \\
&= \left(92200 + 1745,4 \left(20,6 + \frac{10}{2} \right)^2 \right) \\
&= 1148446,264 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

$$Y_{xg} = 23,0 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
Y_{xg} &= \sqrt{\frac{l_{yg}}{A_{profil}}} \\
&= \sqrt{\frac{1148446,264}{1745,4}} = 25,651209 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$X_0 = 0 \text{ mm}$$

$$Y_0 = C_y - \frac{t}{2}$$

$$= 20,6 - \frac{6}{2}$$

$$= 17,6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} r_0 &= \frac{L_x + L_y}{A} + X_0^2 + Y_0^2 \\ &= \frac{92200 + 1148446,264}{1745,4} + 0^2 + 17,6^2 = 1020,5691 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= 1 - \frac{X_0^2 + Y_0^2}{Y_0} \\ &= 1 - \frac{0^2 + 17,6^2}{1020,5691} \\ &= 0,6965 \end{aligned}$$

Batang Tekan

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{75}{6} = 12,5$$

$$\lambda_y = 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,45 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 12,990$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 12,5 < \lambda_y \\ &= 12,990 \end{aligned}$$

Maka, penampang non-langsing.

Pemeriksaan Tekuk Lentur (Terhadap Sumbu X-X):

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{0,5 \times 5800}{23,0} = 126,086$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{y}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{(126,086)^2} = 124,162 \text{ MPa}$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,965$$

$$\frac{KL}{Y_x} = 126,086 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,965$$

Sehingga, F_{cr} diambil dari persamaan

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = 106,868 \text{ MPa}$$

Pemeriksaan Terhadap Tekuk Lentur Torsi:

$$a = 5800 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{r} = \frac{5800}{23,0} = 252,1739$$

Karena $\frac{a}{r} > 40$ maka, menggunakan $\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{Kia}{Yi}\right)^2}$

$$\begin{aligned}\left(\frac{KL}{r}\right)_m &= \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{Kia}{Yi}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{0,5 \times 126,086}{23,0}\right)^2 + 0,5 \times 126,086^2} = 90,120\end{aligned}$$

Karena $\left(\frac{KL}{r}\right)_m = 90,1201 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 133,219$ maka menggunakan persamaan:

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{Fy}{Fe}\right) Fy = 106,868 \text{ MPa}$$

$$Fe = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{y}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(90,120)^2} = 243,044 \text{ MPa}$$

$$F_{cry} = 158,750 \text{ MPa}$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A \times r_o} = \frac{77200 \times 5400}{1745,4 \times 1020,5691} = 234,031 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}F_{cr} &= \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times F_{cry} \times F_{crz} \times H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}}\right] \\ &= \left(\frac{158,750 + 234,031}{2 \times 0,963}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 158,750 \times 234,031 \times 0,963}{(158,750 + 234,031)^2}}\right] \\ &= 149,072 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kekuatan Tekan Desain:

$$F_{cr} = 106,868 \text{ MPa (Pemeriksaan tekuk lentur)}$$

$$F_{cr} = 149,072 \text{ MPa (Pemeriksaan terhadap tekuk lentur torsi)}$$

Dipilih F_{cr} yang memiliki nilai lebih kecil yaitu $F_{cr} = 106,868 \text{ MPa}$

$$\phi_c P_n = 0,9 \times F_{cr} \times A_g$$

$$= 0,9 \times 106,868 \times 1745,4 = 167,874 \text{ kN}$$

$$\phi_c P_n = 167,874 \text{ kN} > \text{Gaya tekan maksimum } 71,469 = \text{kN (OK)}$$

Batang Tarik

Perhitungan Kelangsungan Batang Tarik

$$\lambda = L/\gamma = 4000 / 23,0 = 173,913 < 300 \text{ (OK)}$$

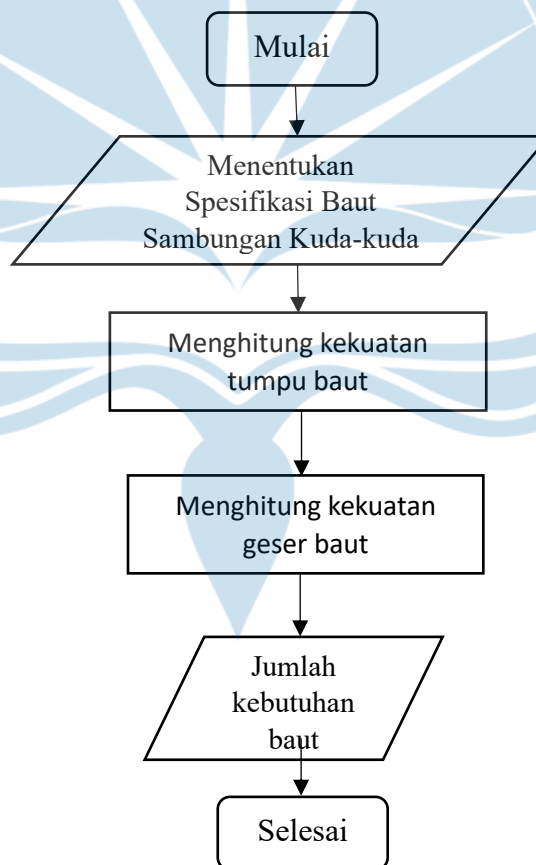
Pemeriksaan Leleh Tarik

$$\begin{aligned} P_n &= F_y \times A_g = 240 \times 1745,4 \\ &= 418,896 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi_c P_n = 418,896 \text{ kN} > P_u \text{ 58,433 (Gaya tekan maksimum) OK}$$

2.5.4 Rencana Sambungan Elemen Kuda-kuda

Sambungan kuda-kuda biasanya menggunakan baut. Jumlah baut yang digunakan bergantung dari tipe dan ukuran baut. Pada perencanaan sambungan kuda-kuda bangunan ini, digunakan baut tipe A-307 baut yang digunakan diameter baut 16 mm. Berikut adalah tahap perencanaan sambungan kuda-kuda. Diagram alir perencanaan sambungan kuda-kuda dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Diagram Alir Perencanaa Sambungan Kuda-kuda

2.5.5 Perhitungan sambungan kuda-kuda

Pada rencana sambungan akan digunakan jenis baut, berikut uraian profil 2L 75x75x6 - 8 mm dengan baut A307 dengan diameter baut yang digunakan diameter 16 dengan diameter lubang 18 mm. Perhitungan Sambungan Baut :

$$\begin{aligned} \text{Diameter baut (d)} &= 16 \text{ mm} \\ \text{Diameter lubang (h)} &= 18 \text{ mm} \\ f_y &= 188 \text{ MPa} \\ f_u &= 310 \text{ Mpa} \\ A_g &= 6 \times 58,433 \\ &= 350,599 \\ \phi P_n &= 0,9 F_y \times A_g \\ &= 0,9 \times 188 \times 350,599 \\ &= 59321 \text{ N} \\ &= 59,321 \text{ kN} > 58,433 \text{ kN (aman)} \end{aligned}$$

Dari spesifikasi baut yang akan digunakan, untuk mencari jumlah baut maka dilakukan perhitungan seperti dibawah ini, diambil nilai terkecil dengan membandingkan nilai antar kuat geser dan kuat tumpu.

Pemeriksaan Keruntuhan Tarik pada Penampang Bruto

$$\begin{aligned} A_n &= 58,433 - (2 \times 22 + 2 \times 6) \\ &= 62,5986 \text{ mm}^2 \\ \text{Max } A_n &= 0,85 A_g \\ &= 0,85 \times 350,599 = 298,0088 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_e = A_n = 62,5986 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,75 F_u \times A_g \\ &= 0,75 \times 310 \times 350,599 \\ &= 69287 \text{ N} = 69,287 \text{ kN} > 58,433 \text{ kN (AMAN)} \end{aligned}$$

1. Kekuatan Tumpu Baut

$$\begin{aligned}R_n &= 2,4d_tF_u \\ &= 2,4 \times 20 \times 6 \times 310 \\ &= 89280 \text{ N} \\ &= 89,280 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0,75 \times 89,280 \\ &= 66,96 \text{ kN}\end{aligned}$$

2. Kekuatan Geser Baut

$$\begin{aligned}R_n &= F_{nv}A_b \text{ (jumlah bidang geser)} \\ &= 457 \times (1/4 \times \pi \times 20^2) \times 2 \\ &= 286996 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0,75 \times 286996 \\ &= 215247 \text{ N} = 215,247 \text{ kN}\end{aligned}$$

Dipilih nilai terkecil dari kekuatan tumpu baut dan kekuatan geser baut

Yaitu $\phi R_n = 66,96 \text{ kN}$, Nilai yang terkecil yang dipakai untuk menentukan jumlah baut.

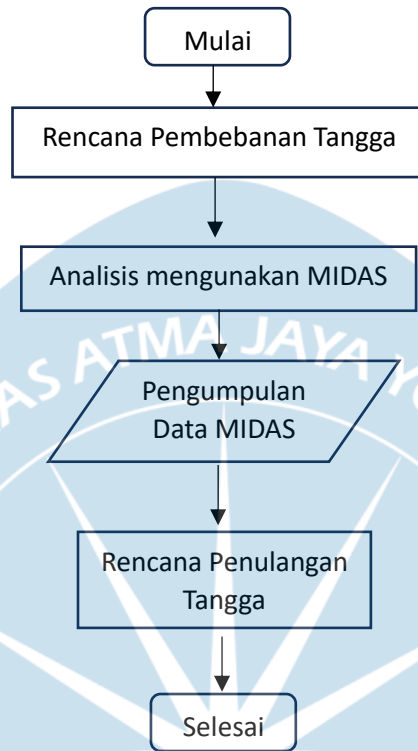
3. Jumlah Kebutuhan Baut

$$\begin{aligned}\text{Jumlah baut} &= \frac{66,96}{58,433} \\ &= 1,1459 \text{ baut}\end{aligned}$$

Jadi, dibulatkan menjadi 2 baut

2.6 Perencanaan Tangga

Tangga merupakan struktur penting dalam bangunan bertingkat. Tangga bangunan ini direncanakan dengan ukuran 3500 x 5000 serta tinggi 4m. Bangunan ini memiliki tinggi anak tangga yaitu, (Optrede) 200 mm lebar (Antrede) 280 mm. Ukuran anak tangga didesain dengan memperhatikan kenyamanan pengguna. Pelat tangga memiliki ketebalan 150 mm. Alur perencanaan tangga dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Diagram Alir Perencanaan Tangga

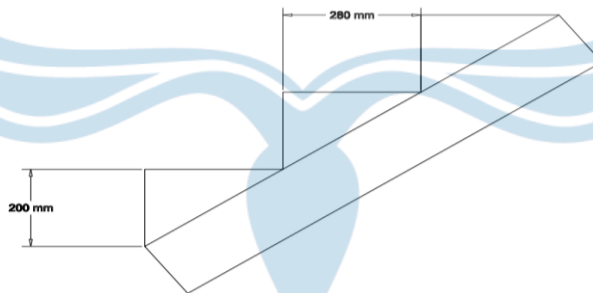
Tangga merupakan sarana penghubung antar lantai pada bangunan bertingkat. Langkah awal dalam melakukan perencanaan tangga adalah mengetahui data data untuk perhitungan serta menentukan dimensi atau ukuran awal untu desain tangga. Pada tabel 2.11 adalah data perencanaan tangga.

Tabel 2. 11 Data Perencanaan Tangga

Parameter	Niai	Satuan
Tinggi Antar Lantai (h_{lt})	4000	mm
Lebar Tangga	3500	mm
Tinggi Anak Tangga (Optrede)	200	mm
Lebar Anak Tangga (Antrede)	280	mm
Jumlah Anak Tangga (n_{tg})	20	Buah
Lebar Bordes	2480	mm
Tebal Pelat Bordes	200	mm

Sudut Tangga (α)	35,53°	
Tebal Plat Tangga	150	mm

Berdasarkan tabel 2.11 dapat diketahui bahwa tinggi antar lantai 1 dan 2 setinggi 4000 mm serta lebar tangga yang akan dirancang sebesar 3500 mm . Dari data diatas maka dapat dirancang dan direncanakan ukuran anak tangga yang akan digunakan. Pada perencanaan anak tangga, ada 2 parameter yang harus diketahui yaitu tinggi anak tangga (Optrede) dan lebar anak tangga (Aptrede). Berdasarkan ketentuan untuk ukuran optrede adalah antar 150 hingga 200 mm, sedangkan untuk ukuran aptrede dibatasi berkisaran antara 280 hingga 300 mm. Untuk perencanaan ini, ukuran optrede yang digunakan adalah 200 mm dan untuk ukuran aptrede yang digunakan adalah 280 mm, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11. Setelah diketahui ukuran anak tangga maka langkah selanjutnya yaitu menentukan jumlah anak tangga dengan membagi tinggi antar lantai dengan tinggi anak tangga. Sehingga didapatkan jumlah anak tangga yang digunakan dalam perencanaan tangga ini yaitu 20 buah yang akan dibagi menjadi 2 segmen atau bagian.



Gambar 2. 11 Detail anak tangga

2.6.1 Pembebanan Tangga

Setelah diketahui dimensi untuk ruang tangga, sudut kemiringan tangga dan tebal pelat tangga, maka dapat merencanakan pembebanan untuk tangga. Pembebanan pada tangga sendiri dapat ditinjau pada 2 tempat yaitu pada bagaian tangga miring dan pada bordes tangga. Dengan 2 jenis pembebanan yaitu Live Load dan Dead Load.

a. Pembebanan pelat tangga :

- Beban Mati :

Beban pelat + anak tangga = 5,69 kN/m

Spesi (0,02m) = 0,42 kN/m

Railing = 1 kN/m

Penutup Lantai (0,01m) = 0,20 kN/m

Maka didapatkan hasil untuk bebm mati pelat tangga :

QDL = 7,31 kN/m

- Beban hidup :

Beban hidup untuk tangga = 4,79 kN/m

b. Pembebanan pelat bordes

- Beban pelat + anak tangga = 3 kN/m

Spesi (0,02m) = 0,42 kN/m

Railing = 1 kN/m

Penutup Lantai (0,01m) = 0,20 kN/m

Maka didapatkan hasil untuk bebm mati pelat tangga :

QDL = 4,62 kN/m

- Beban hidup :

Beban hidup untuk tangga = 4,79 kN/m

Dari data diatas, dapat dilihat jenis pembebanan dan besarnya beban yang akan bekerja pada tangga. Pada tangga terdapat 2 jenis pembebanan yaitu sebagai berikut:

1. Pembebanan oleh tangga itu sendiri yaitu dead load yang terdiri dari berat tangga, berat spesi dan tegel, berat railing, berat anak tangga. Berdasarkan perhitungan didapatkan total dead load sebesar 7,31 kN/m. Sedangkan untuk beban hidup yang akan digunakan mengacu pada SNI 1727:2020 tentang beban minimum untuk tangga pada bangunan 4 lantai yaitu sebesar 4,79 kN/m.
2. Pembebanan Bordes. Bordes adalah bagian tangga yang digunakan untuk tempat beristirahat untuk menuju arah tangga berikutnya. Bordes adalah plat datar di antara anak tangga. Pembebanan pada bordes terdiri dari dead load yang terdiri

atas berat tangga, berat spesi dan tegel, berat railing. Berdasarkan perhitungan di dapatkan berat dead load sebesar 4,62 kN/m. dan berat beban hidup minimum berdasarkan SNI 1727:2020 yaitu 4,79 kN/m.

Setelah menghitung pembebanna pada tangga, selanjutnya dilakukan pemodelan gaya dalam pada tangga dengan menggunakan software MIDAS GEN. Pemodelan dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Pemodelan Tangga Dengan MIDAS

Pemodelan dilakukan agar dapat mengetahui gaya yang bekerja pada tangga akibat beban seperti aya geser dan momen. Hasil gaya- gaya tersebut dapat dilihat pada tabel 2.12

Tabel 2. 12 Data Pemodelan Tangga Menggunakan MIDAS GEN

SFD (Shear Force Diagram)		
Gaya Geser Akibat Dead Load (V_{DL})	15.12	kN
Gaya Geser Akibat Live Load (V_{LL})	9.35	kN
Bending Moment Diagram (B_{MD})		
Momen Akibat Dead Load (M_{DL})	16.24	kNm
Momen Akibat Live Load(M_{LL})	9.24	kNm

2.6.2 Penulangan Tangga

Langkah selanjutnya dalam perencanaan tangga adalah merencanakan penulangan untuk tangga itu sendiri. Pada tangga terdapat 2 jenis penulangan yaitu penulangan tangga tumpuan dan tangga lapangan. Hal ini dikarenakan pada masing masing area tangga memiliki momen yang berbeda beda sehingga perlu ditinjau pada bagian tumpuan dan lapangan. Tetapi sebelum itu perlu dicari terlebih dahulu gaya-gaya rencana tangga hasil kombinasi gaya akibat pembebanan dead load dan live load seperti pada tabel 2.13.

Tabel 2. 13 Perhitungan Gaya Rencana Tangga

Momen Rencana (M_u)		
M_{u1}	$1,4 \times M_{DL} = 1,4 \times 16,24 = 22,736$	kNm
M_{u2}	$1,2 \times M_{DL} + 1,6 \times M_{LL} = 1,2 \times 16,24 + 1,6 \times 9,24 = 34,272$	kNm
M_{ur}	$MaX (M_{u1}; M_{u2}) = M_{u2} = 34,272$	kNm
Gaya Geser Rencana (V_u)		
V_{u1}	$1,4 \times V_{DL} = 1,4 \times 15,12 = 21,168$	kNm
V_{u2}	$1,2 \times V_{DL} + 1,6 \times V_{LL} = 1,2 \times 15,12 + 1,6 \times 9,35 = 33,104$	kNm
V_{ur}	$MaX (V_{u1}; V_{u2}) = V_{u2} = 33,104$	kNm

Pada perhitungan ini digunakan 2 tipe kombinasi. Dari kedua kombinassi tersebut dipilih nilai terbesar yang akan digunakan untuk gaya geser rencana (V_u) dan momen rencana (M_u). Setelah diketahui gaya gaya dan kombinasi tersebut langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan penulangan tumpuan dan lapangan tangga. Yang pertama akan dilakukan perhitungan adalah penulangan tumpuan tangga. Untuk menghitung penulangan tumpuan tangga dibutuhkan beberapa data yang dapat dilihat pada tabel 2.14.

Tabel 2. 14 Data Perencanaan Penulangan Tangga

Parameter	Nilai	Satuan
Mutu Beton(F'c)	30	Mpa
Tegangan Baja (fy)	420	Mpa
Selimut Beton	20	mm
Tebal Plat Tangga (t)	150	mm
Lebar yang ditinjau (bw)	1000	mm
Diameter Tulangan Lentur (Dtul)	13	mm
Diameter Tulangan Gese(dtul)	8	mm
Tebal efektif (d)	$T - (ds + \frac{1}{2} \times Dtul)$ $= 150 - (20 + \frac{1}{2} \times 13) =$ $123,5$	mm

Pada Tabel di atas, dapat diketahui bahwa selimut beton yang akan digunakan untuk tangga adalah 20 mm. Dan pada perencanaan ini tulangan yang akan digunakan untuk penulangan lentur adalah ulir diameter 13 mm (D13) dan penulangan geser yang digunakan adalah tulangan polos berdiameter 8 (d8). Dari data tersebut dihasilkan tebal efektif pelat tangga adalah sebesar 123,5 mm. Selanjutnya yaitu menghitung penulangan tumpuan tangga. Perhitungan penulangan hitungan tangga dapat dilihat pada tabel 2.15.

Tabel 2. 15 Perhitungan Penulangan Tangga Tumpuan

Tulangan Pokok		
Momen Lentur (Mu)	$0,8 \times M_{ur} = 0,8 \times 34,272 = 27,4176$	kN
Faktor Tahanan Lentur (Rn)	$\frac{Mu}{0,9 \times bw \times d^2} = \frac{27,4176 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 123,5^2} = 2,2414$	Mpa

Tabel 2. 16 Perhitungan Penulangan Tangga Tumpuan

Rasio Tulangan Maksimum (ρ_{max})	$0,75 \times \left(\frac{0,85 \times f'c \times \beta}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$ $= 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{420} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,0227$	
Rasio Tulangan Perlu (ρ_{perlu})	$\frac{0,85 \times f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}} \right)$ $= \frac{0,85 \times 30}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,2414}{0,85 \times 30}} \right) = 0,00559$	
Luas Permukaan Penulangan Perlu (As perlu)	$\rho \times b_w \times d = 0,0059 \times 1000 \times 123,5$ $= 728,65$	mm ²
Jarak Antar Tulangan	$\frac{b_w \times 0,25 \times \pi \times D_{tul}^2}{A_s} = \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{728,65}$ $182,162 = 150$	mm
Luas Permukaan Penulangan Pakai (As pakai)	$\frac{b_w \times 0,25 \times \pi \times D_{tul}^2}{s} = \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{150}$ $= 884,882$	mm ²
Tulangan Pokok Yang Digunakan	D13-150	
Kuat Geser (Vc)	$\frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d = \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 1000 \times 123,5$ $= 112739,55 = 112,739$	kN

Tabel 2. 15 Lanjutan Perhitungan Penulangan Tangga Tumpuan

Kapasitas Kuat Geser (ϕV_c)	$\phi \times V_c = 0,75 \times 112,739 = 84,554$	kN
Keamanan Terhadap Geser	$V_u < \phi V_c = 33,104 < 84,554$ (OKE)	AMAN
Tulangan Bagi		
Luas Permukaan Penulangan Minimal (A_s min)	$\rho_{min} \times b_w \times t = 0,002 \times 1000 \times 150$ $= 300$	mm ²
Jarak Antar Tulangan (s)	$\frac{b_w \times 0,25 \times \pi \times d_{tul}^2}{A_s}$ $= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 8^2}{300} = 167,552$ $= 150$	mm
Luas Permukaan Penulangan Bagi (A_s bagi)	$\frac{b_w \times 0,25 \times \pi \times d_{tul}^2}{s}$ $= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 8^2}{150} = 335,238$	
Pengecekan Tulangan Bagi	$A_s \text{ bagi} > A_s \text{ min}$ $= 335,238 > 300$ (OKE)	AMAN
Tulangan Bagi yang Digunakan	D8-150	

Berdasarkan tabel 2.15 diketahui hasil perhitungan untuk penulangan tangga tumpuan yang terbagi atas tulangan pokok dan tulangan bagi. Dalam perencanaan tulangan tangga tersebut harus mampu menahan momen lentur rencana yang terjadi pada tumpuan tangga yaitu sebesar 27,4167 kN. Pada perencanaan tulangan tumpuan tangga ini penulangantangga akan ditinjau setiap lebar (b_w) 1 m. Kemudian dari momen lentur rencana yang telah diketahui akan dihitung faktor tahanan lentur (R_n). Setelah didapatkan R_n , Maka akan ditentukan rasio penulangan (ρ) minimum, maksimum serta rasio penulangan yang diperlukan berdasarkan data desain awal. Nilai rasio penulangan perlu (ρ perlu) harus memenuhi ketentuan $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$. Apabila nilai rasio penulangan perlu kurang dari rasio minimum, maka digunakan rasio minimum. Sedangkan jika nilai rasio penulangan perlu lebih dari rasio maksimum, maka digunakan nilai rasio penulangan maksimum. Dari rasio penulangan perlu tersebut, dihitung luas permukaan penulangan (A_s perlu) setiap lebar 1 m. Nilai A_s perlu tersebut nantinya

akan digunakan dalam perhitungan jarak tulangan yang akan digunakan dalam pemasangan tulangan pokok. Nilai jarak tulangan yang didapatkan kemudian dilakukan pembulatan mejadi 200 mm. Sehingga didapatkan nilai penulangan yakan akan digunakan adalah D13-200. Kemudian setelahkan didapatkan nilai tersebut dilakukan perhitungan terhadap kuat geser (V_c) dan kapasitas kuat geser (ϕV_c) yang mampu ditahan oleh desain tangga tersebut. Nilai kapasitas kuat geser (ϕV_c) harus lebih besar dibandingkan nilai kuat geser rencana (V_u).

Langkah selanjutnya setelah menghitung tulangan pokok yaitu menghitung dan menentukan tulangan bagi Dalam perhitungan ini digunakan rasio penulangan minimum. Langkah awal yang harus dilakukan adalah menentukan luas permukaan penulangan minimum (A_{smin}). Dari A_{smin} akan mendapatkan jarak antar tulangan yang dibutuhkan dalam tulangan bagi. Jaarak tulangan harus memiliki luas permukaan penulangan yang lebih besar dibandingkan luas permukaan penulangan minimum. Dari sinilah didapatkan bahwa tulangan bagi yang akan digunakan adalah d8-150. Kemudian jika sudah menghitung tulangan tumpuan tangga perlu juga untuk menghitung dan merencanakan tulangan lapangan tangga. Langkah dan cara perhitungan tulangan lapangan sama seperti perhitungan tulangan tumpuan hanya yang memebedakan yaitu gaya rencana yang bekerja pada masing masing area tersebut. Hasil perhitungan tulangan lapangan tangga dan cara mendapatkannya dapat diliaht pada tabel 2.16.

Tabel 2. 17 Tulangan Lapangan Tangga

Tulangan Pokok		
Momen Lentur (M_u)	$0,5 \times M_{ur} = 0,5 \times 34,272 = 17,136$	kN
Faktor Tahanan Lentur (R_n)	$\frac{M_u}{0,9 \times b \times w \times d^2} = \frac{17,136 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 123,5^2} = 1,248$	Mpa
Rasio Tulangan Maksimum (ρ_{max})	$0,75 \times \left(\frac{0,85 \times f'_{cx} \times \beta}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$ $= 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{420} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right)$ $= 0,0227$	

Tabel 2. 16 Tulangan Lapangan Tangga

Rasio Tulangan Perlu (ρ perlu)	$\frac{0,85x f'c}{fy} x (1 - \sqrt{1 - \frac{2 x Rn}{0,85 x f'c}}$ $= \frac{0,85x30}{420} x (1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 1,248}{0,85 x 30}} = 0,00304$	
Luas Permukaan Penulangan Perlu (A_s perlu)	$\rho x b_w x d = 0,00304 x 1000 x 123,5$ $= 375,44$	mm ²
Jarak Antar Tulangan	$\frac{b_w x 0,25 x \pi x D_{tul}^2}{A_s} = \frac{1000 x 0,25 x \pi x 13^2}{375,44} =$ $353,537 = 200$	mm
Luas Permukaan Penulangan Pakai (A_s pakai)	$\frac{b_w x 0,25 x \pi x D_{tul}^2}{s} = \frac{1000 x 0,25 x \pi x 13^2}{200}$ $= 663,661$	mm ²
Tulangan Pokok Yang Digunakan	D13-200	
Kuat Geser (V_c)	$\frac{1}{6} x \sqrt{f'c} x b_w x d =$ $\frac{1}{6} x \sqrt{30} x 1000 x 123,5 = 112739,55$ $= 112,739$	kN
Kapasitas Kuat Geser (ϕV_c)	$\phi x V_c = 0,75 x 112,739 = 84,55$	kN
Keamanan Terhadap Geser	$V_u < \phi V_c = 33,104 < 84,55$ (OKE)	AMAN

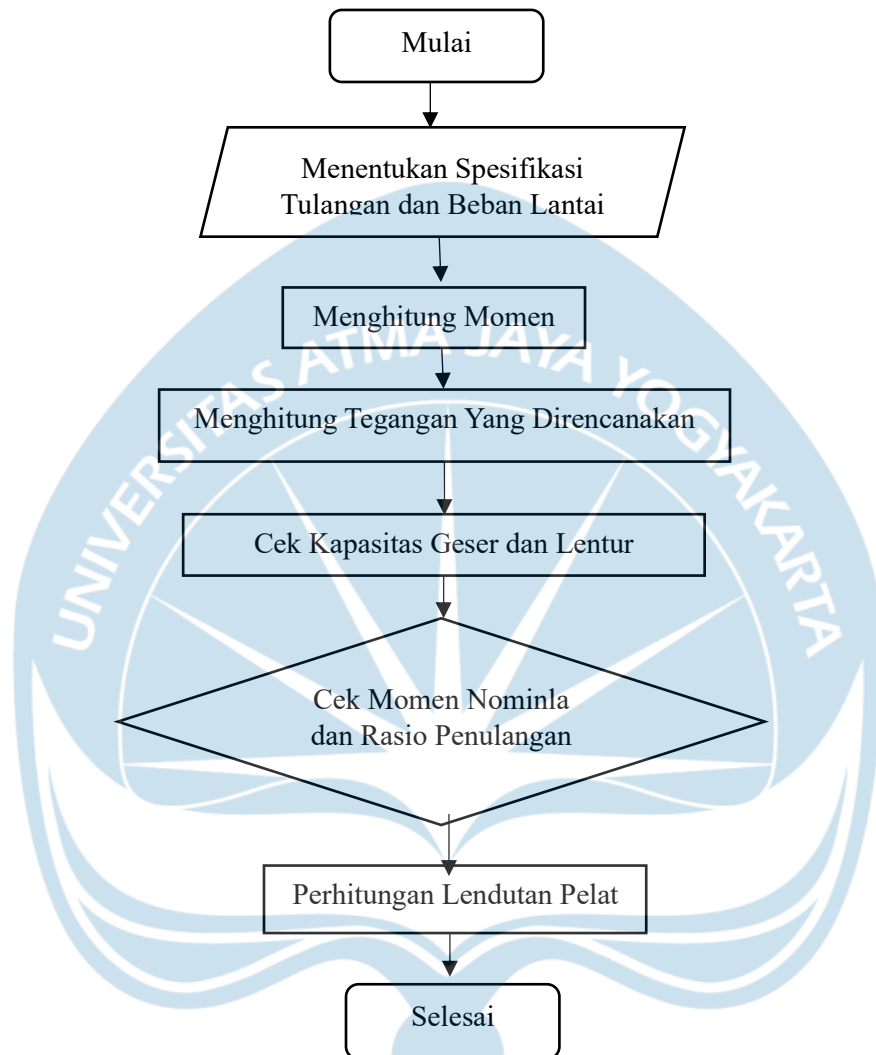
Tabel 2. 16 Tulangan Lapangan Tangga

Tulangan Bagi		
Luas Permukaan Penulangan Minimal (As min)	$\rho_{min} \times b_w \times t = 0,002 \times 1000 \times 150$ =300	mm ²
Jarak Antar Tulangan (s)	$\frac{b_w \times 0,25 \times \pi \times dt_{ul}^2}{As} = \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 8^2}{300}$ = 167,552 = 150	mm
Luas Permukaan Penulangan Bagi (As bagi)	$\frac{b_w \times 0,25 \times \pi \times dt_{ul}^2}{s} = \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 8^2}{150}$ = 335,238	
Pengecekan Tulangan Bagi	As bagi > As min =335,238 > 300 (OKE)	AMAN
Tulangan Bagi yang Digunakan	D8-150	

Dari tabel 2.16 didapatkan bahwa penulangan lapangan yang digunakan untuk tangga berupa tulangan pokok D13-200 dan tulangan bagi lapangan tangga sama seperti pada tulangan tumpuan yaitu tulangan d8-150.

2.7 Perencanaan Pelat

Pelat lantai merupakan sebuah lantai yang letaknya tidak di atas tanah langsung, tetapi merupakan sebuah lantai yang tingkat pembatas dengan yang satu dan yang lainnya. Pelat lantai ini didukung oleh balok yang bertumpu pada sebuah kolom bangunan, perencanaan pelat lantai ini merupakan bagian dalam perencanaan struktur atas suatu proyek konstruksi. Perhitungan pelat lantai melibatkan perhitungan pelat dalam menahan beban yang akan bekerja pada pelat lantai, momen akibat beban terfaktor, serta penulangan pelat. Penulangan pelat lantai terdiri atas tulangan lapangan dan tumpuan. Alur Perencanaan pelat dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Diagram Alir Perencanaan Pelat

Langkah awal yang harus kita ketahui sebelum melakukan perencanaan pelat adalah pengumpulan data-data yang akan dibutuhkan untuk perencanaan pelat ini, yaitu sebagai berikut :

$$F'c = 30 \text{ MPa}$$

$$Fy = 420 \text{ Mpa}$$

$$Ec = 4700 \cdot \sqrt{f'c} = 4700 \cdot \sqrt{30} = 25,743 \text{ MPa}$$

Ukuran dan dimensi asumsi:

Balok A = 400 mm × 600 mm

Balok B = 350 mm × 550 mm

Balok C = 300 mm × 450 mm

Balok D = 250 mm × 400 mm

h = 15 cm = 150 mm → asumsi

Tebal selimut (ts) = 2 cm = 20 mm

Ø tulangan = 10 mm

Setelah mengetahui semua data angka selanjutnya yaitu melakukan identifikasi serta kontrol ketebalan plat, perencanaan ketebalan plat juga harus dilakukan kontrol atau cek agar memastikan bahwa ketebalan plat sudah tepat.

$$\frac{l_y}{l_x} \leq 2 \rightarrow \text{pelat dua arah}$$

$$\beta = 5000 \text{ mm} / 5000 \text{ mm} = 1 < 2 \rightarrow \text{termasuk pelat dua arah}$$

- Balok A (400 mm × 600 mm)

$$\begin{aligned} b_e &= b_w + (h_w - t) \\ &= 400 + (600 - 150) \\ &= 850 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$I_b = k \cdot \frac{b_w \cdot h_w^3}{12}$$

$$\begin{aligned} k &= \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right) \cdot \left[4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right)} \\ &= \frac{1 + \left(\frac{850}{400} - 1\right) \cdot \left(\frac{150}{600}\right) \cdot \left[4 - 6\left(\frac{150}{600}\right) + 4\left(\frac{150}{600}\right)^2 + \left(\frac{850}{400} - 1\right) \cdot \left(\frac{150}{600}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{850}{400} - 1\right) \cdot \left(\frac{150}{600}\right)} \\ &= 1,38 \end{aligned}$$

$$I_b = 1,38 \cdot \frac{400 \cdot 600^3}{12} = 9962201595 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \frac{bh^3}{12} = \frac{2000 \cdot 150^3}{12} = 1406250000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Kekakuan : } \alpha_{fm} = \frac{E_c \cdot I_b}{E_c \cdot I_s} = \frac{25,743 \times 9962201595}{25,743 \times 325520833,3} = 7,08$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan hasil α_{fm} :

$$\alpha_{fm} = 7,08$$

Ketebalan minimum pelat (h_{min}) dapat diperhitungkan dengan Tabel 8.3.1.2 Ketebalan minimum untuk pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya, Diketahui $\alpha_{fm} > 2$ maka dipakai persamaan (d), dapat dilihat pada tabel 2.17.

Tabel 2. 18 h minimum

$\alpha_{fm}^{[1]}$	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)$	(b) ^{[2],[3]}
		$36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)$	
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)$	(d) ^{[2],[3]}
		$36 + 9\beta$	
		90	(e)

Dimana:

h : tebal minimum pelat (mm)

$l_n = l_{ny}$: panjang bersih pelat arah memanjang (mm)

l_{ny} : bentang bersih dalam arah panjang (mm)

l_{nx} : bentang bersih dalam arah pendek (mm)

$l_n = l_{n1} = 4600 \text{ mm}$

$$l_n = 4600 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{l_1}{l_2} = \frac{4600}{4600} = 1$$

Maka, tebal minimum pelat dapat dihitung:

$$h_{min} = \frac{Ln(0,8 + (\frac{f_y}{1400}))}{36 + 9\beta} = \frac{4600(0,8 + (\frac{420}{1400}))}{36 + 9(1)} = 112.44 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

sehingga didapatkan tebal minimum pelat adalah 120 mm,

h_{min} (ketebalan) yang digunakan adalah 150 mm atau 15 cm.

2.7.1 Penulangan Pelat

Pelat lantai adalah jenis pelat yang digunakan sebagai elemen struktural untuk membentuk lantai suatu bangunan. Pelat berfungsi sebagai permukaan lantai yang dapat ditempati dan untuk menahan beban yang diterima, baik beban hidup (misalnya manusia, perabot, atau peralatan) maupun beban mati (misalnya struktur di atasnya atau material bangunan). Perancangan penulangan plat pada bangunan ini berpacuan pada pedoman SNI 2847-2019. Berikut merupakan penjelasan terkait perhitungan pelat lantai.

Berikut merupakan material dan properti yang digunakan :

Panjang pelat arah sumbu 1 (L_1) = 5000 mm

Panjang pelat arah sumbu 2 (L_2) = 5000 mm

Tebal pelat (h) = 150 mm

Diameter Tulangan (d_b) = 10 mm

Selimut Bersih (c_c) = 20 mm

Tebal efektif penampang (d) = $h - c_c - d_b - d_b/2$
 = $150 - 20 - 10 - 10/2$
 = 115 mm

Kuat Tekan Beton (f_c') = 30 Mpa

Kuat Leleh Tulangan (f_y) = 420 Mpa

Modulus Elastisitas Beton (E_c) = $4700 \times \sqrt{f_c'}$

$$= 4700 \times 30 = 25743$$

$$\beta_1 = 0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f_c' - 28) / 7 \leq 0.85$$

$$= 0.8357$$

$$\Lambda = 1 \text{ (asumsi tidak menggunakan beton ringan)}$$

Dalam perencanaan plat, akan dilakukan perhitungan tulangan. Tulangan pada plat terdiri atas 2 jenis tulangan, yaitu sebagai berikut.

1. Tulangan lapangan, merupakan tulangan pokok yang posisinya berada di tengah bentang dan terdapat 2 buah tulangan lapangan pada plat lantai, yaitu tulangan pokok lapangan arah X dan tulangan pokok lapangan arah Y.
2. Tulangan tumpuan, merupakan tulangan yang posisinya berada di sekitar area tumpuan.

Tabel 2.18 Adalah gaya dalam dari pelat lantai

Tabel 2. 19 Gaya Dalam Pelat Lantai

Gaya Dalam		
Parameter	Satuan	Nilai
M Max akibat Mxx Max	kN-m	16.225
M Min akibat Mxx Min	kN-m	-20.86
M Max akibat Myy Max	kN-m	15.5
M Min akibat Myy Min	kN-m	-28.879

2.7.2 Perhitungan penulangan lentur (Analisis untuk per meter lari)

a. Momen Positif M11 --> Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu 1 (X)

$$\text{Spasi Tulangan (s)} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Maksimum (s}_{\text{max}}) = 2 * h = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Spasi Maksimum} = 150 \leq 300 \quad (\text{OK})$$

Jumlah Tulangan Positif Tumpuan (n)

$$= b / s = 1000 / s \text{ (Analisis untuk per 1 m)}$$

$$= 6.6667$$

Jarak Bersih Antar Tulangan = $s - d_b$
= $150 - 10 = 140 \text{ mm}$

Cek Jarak Bersih Jarak Bersih = Jarak bersih $\geq d_b$ dan 25 mm
= $140 \geq 10 \text{ (OK)}$

As Pasang = $n \times \pi/4 \times d_b^2$
= $6.6667 \times \pi/4 \times 10^2$
= 523.599 mm^2

As_{min} ($f_y < 420 \text{ MPa}$) = $0.2\% \times b \times h$
= $0.2\% \times 1000 \times 150$
= 300 mm^2

As_{min} ($f_y \geq 420 \text{ MPa}$) : maximum dari $(0.18\% \times 420 / f_y) \times b \times h$ dan $0.14\% \times b \times h$

- = $(0.18\% \times 420 / f_y) \times b \times h$
= $(0.18\% \times 420/420) \times 1000 \times 150$
= 270 mm^2
- = $0.14\% \times b \times h$
= $0.14\% \times 1000 \times 150$
= 210 mm^2

Digunakan 270 mm^2

Cek As_{min} = As Pasang \geq As_{min}
= $523.599 \geq 270 \text{ (OK)}$

Tinggi Blok Beton (a) = As Pasang $\times f_y / (0.85 \times f_c' \times b)$
= $523.599 \times 420 / (0.85 \times 30 \times 1000)$
= 8.624 mm

Kapasitas Lentur (M_n) = As Pasang $\times f_y \times (d - a/2)$
= $523.599 \times 420 \times (115 - 8.624/2)$
= 24341572.967×10^6
= 24.342 kN-m

Lokasi Garis Netral (c) = a / β_1
= $8.624 / 0.8357$
= 10.319 mm

Regangan Tulangan Tarik (ϵ_s) = $(d - c) / c \times 0.003$
= $(115 - 10.319) / 10.319 \times 0.003$
= 0.030

Faktor Reduksi (ϕ) = $0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 \times 0.25$
 ≤ 0.9 = $0.65 \leq 0.65 + (0.030 - 0.002) / 0.003 \times$
 $0.25 \leq 0.9$
= 0.900

Kapasitas Lentur Tereduksi (ϕM_n) = $\phi \times M_n$
= 0.900×24.342
= 21.907 kN-m

Momen Ultimit (M_u) = 16.225 kN-m

Cek Kapasitas = $\phi M_n > M_u ?$
= $21.907 > 16.225$ (OK)

2 Momen Negatif M11 --> Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu 1 (X)

Spasi Tulangan (s) = 100 mm

Spasi Maksimum (s_{max}) = $2 * h = 300$ mm

Cek Spasi Maksimum = $100 \leq 300$ (OK)

Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan (n)
= $b / s = 1000 / s$ (Analisis untuk per 1 m)
= 10

Jarak Bersih Antar Tulangan = $s - d_b$
= $100 - 10 = 90$ mm

Cek Jarak Bersih Jarak Bersih = Jarak bersih $\geq d_b$ dan 25 mm
= $90 \geq 10$ (OK)

Jumlah Lapis = 2

As Pasang = $n \times \pi / 4 \times d_b^2$

$$\begin{aligned}
&= 10 \times \pi/4 \times 10^2 \\
&= 785.398 \text{ mm}^2 \\
A_{s \text{ min}} (f_y < 420 \text{ MPa}) &= 0.2\% \times b \times h \\
&= 0.2\% \times 1000 \times 150 \\
&= 300 \text{ mm}^2 \\
A_{s \text{ min}} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) : \text{ maximum dari } (0.18\% \times 420 / f_y) \times b \times h \text{ dan } 0.14\% \times b \times h \\
&= (0.18\% \times 420 / f_y) \times b \times h \\
&= (0.18\% \times 420/420) \times 1000 \times 150 \\
&= 270 \text{ mm}^2 \\
&= 0.14\% \times b \times h \\
&= 0.14\% \times 1000 \times 150 \\
&= 210 \text{ mm}^2 \\
\text{Digunakan } 270 \text{ mm}^2 \\
\text{Cek } A_{s \text{ min}} &= A_{s \text{ Pasang}} \geq A_{s \text{ min}} \\
&= 785.398 \geq 270 \text{ (OK)} \\
\text{Tinggi Blok Beton (a)} &= A_{s \text{ Pasang}} \times f_y / (0.85 \times f_c' \times b) \\
&= 785.398 \times 420 / (0.85 \times 30 \times 1000) \\
&= 12.936 \text{ mm} \\
\text{Kapasitas Lentur (M}_n\text{)} &= A_{s \text{ Pasang}} \times f_y \times (d - a/2) \\
&= 785.398 \times 420 \times (115 - 12.936/2) \\
&= 35801142.609 \times 10^6 \\
&= 35.801 \text{ kN-m} \\
\text{Lokasi Garis Netral (c)} &= a / \beta_1 \\
&= 12.936 / 0.8357 \\
&= 15.479 \text{ mm} \\
\text{Regangan Tulangan Tarik } (\epsilon_s) &= (d - c) / c \times 0.003 \\
&= (115 - 15.479) / 15.479 \times 0.003
\end{aligned}$$

$$= 0.019$$

Faktor Reduksi (ϕ) ≤ 0.9
 $0.25 \leq 0.9$

$$= 0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 \times 0.25$$

$$= 0.65 \leq 0.65 + (0.019 - 0.002) / 0.003 \times 0.25$$

$$= 0.900$$

Kapasitas Lentur Tereduksi (ϕM_n) $= \phi \times M_n$

$$= 0.900 \times 35.801$$

$$= 32.221 \text{ kN-m}$$

Momen Ultimit (M_u) $= 20.86 \text{ kN-m}$

Cek Kapasitas $= \phi M_n > M_u ?$

$$= 32.221 > 20.86 \text{ (OK)}$$

3 Momen Positif M22 --> Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu 2 (Y)

Spasi Tulangan (s) $= 150 \text{ mm}$

Spasi Maksimum (s_{max}) $= 2 * h = 300 \text{ mm}$

Cek Spasi Maksimum $= 150 \leq 300 \text{ (OK)}$

Jumlah Tulangan Positif Tumpuan (n)

$$= b / s = 1000 / s \text{ (Analisis untuk per 1 m)}$$

$$= 7$$

Jarak Bersih Antar Tulangan $= s - d_b$

$$= 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

Cek Jarak Bersih Jarak Bersih $= \text{Jarak bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}$

$$= 140 \geq 10 \text{ (OK)}$$

Jumah lapis $= 2$

As Pasang $= n \times \pi/4 \times d_b^2$

$$= 6.6667 \times \pi/4 \times 10^2$$

$$= 523.599 \text{ mm}^2$$

As $_{min}$ ($f_y < 420 \text{ MPa}$) $= 0.2\% \times b \times h$

$$= 0.2\% \times 1000 \times 150$$

$$= 300 \text{ mm}^2$$

$A_{s \min}$ ($f_y \geq 420$ MPa) : maximum dari $(0.18\% \times 420 / f_y) \times b \times h$ dan $0.14\% \times b \times h$

- $= (0.18\% \times 420 / f_y) \times b \times h$
 $= (0.18\% \times 420/420) \times 1000 \times 150$
 $= 270 \text{ mm}^2$
- $= 0.14\% \times b \times h$
 $= 0.14\% \times 1000 \times 150$
 $= 210 \text{ mm}^2$

Digunakan 270 mm^2

Cek $A_s \min$ $= A_s \text{ Pasang} \geq A_s \min$
 $= 523.599 \geq 270$ (OK)

Tinggi Blok Beton (a) $= A_s \text{ Pasang} \times f_y / (0.85 \times f_c' \times b)$
 $= 523.599 \times 420 / (0.85 \times 30 \times 1000)$
 $= 8.624 \text{ mm}$

Kapasitas Lentur (M_n) $= A_s \text{ Pasang} \times f_y \times (d - d_b - a/2)$
 $= 523.599 \times 420 \times (115 - 10 - 8.624/2)$
 $= 22.142 \text{ kN-m}$

Lokasi Garis Netral (c) $= a / \beta_1$
 $= 8.624 / 0.8357$
 $= 10.319 \text{ mm}$

Regangan Tulangan Tarik (ϵ_s) $= (d - c) / c \times 0.003$
 $= (115 - 10.319) / 10.319 \times 0.003$
 $= 0.030$

Faktor Reduksi (ϕ) $= 0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 \times 0.25$
 ≤ 0.9 $= 0.65 \leq 0.65 + (0.030 - 0.002) / 0.003 \times 0.25$
 $0.25 \leq 0.9$
 $= 0.900$

Kapasitas Lentur Tereduksi (ϕM_n) $= \phi \times M_n$
 $= 0.900 \times 22.142$

$$= 19.928 \text{ kN-m}$$

Momen Ultimit (M_u) $= 15.500 \text{ kN-m}$

Cek Kapasitas $= \phi M_n > M_u ?$

$$= 19.928 > 15.500 \text{ (OK)}$$

4 Momen Negatif M11 --> Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu 1 (X)

Spasi Tulangan (s) $= 100 \text{ mm}$

Spasi Maksimum (s_{max}) $= 2 * h = 300 \text{ mm}$

Cek Spasi Maksimum $= 100 \leq 300 \text{ (OK)}$

Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan (n)

$$= b / s = 1000 / s \text{ (Analisis untuk per 1 m)}$$

$$= 10$$

Jarak Bersih Antar Tulangan $= s - d_b$

$$= 100 - 10 = 90 \text{ mm}$$

Cek Jarak Bersih Jarak Bersih $= \text{Jarak bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}$

$$= 90 \geq 10 \text{ (OK)}$$

Jumlah Lapis $= 2$

As Pasang $= n \times \pi/4 \times d_b^2$

$$= 10 \times \pi/4 \times 10^2$$

$$= 785.398 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ min}} (f_y < 420 \text{ MPa})$ $= 0.2\% \times b \times h$

$$= 0.2\% \times 1000 \times 150$$

$$= 300 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ min}} (f_y \geq 420 \text{ MPa})$: maximum dari $(0.18\% \times 420 / f_y) \times b \times h$ dan $0.14\% \times b \times h$

$$= (0.18\% \times 420 / f_y) \times b \times h$$

$$= (0.18\% \times 420/420) \times 1000 \times 150$$

$$= 270 \text{ mm}^2$$

$$= 0.14\% \times b \times h$$

$$= 0.14 \% \times 1000 \times 150$$

$$= 210 \text{ mm}^2$$

Digunakan 270 mm^2

Cek As min $= \text{As Pasang} \geq \text{As min}$

$$= 785.398 \geq 270 \text{ (OK)}$$

Tinggi Blok Beton (a) $= \text{As Pasang} \times f_y / (0.85 \times f_c' \times b)$

$$= 785.398 \times 420 / (0.85 \times 30 \times 1000)$$

$$= 12.936 \text{ mm}$$

Kapasitas Lentur (M_n) $= \text{As Pasang} \times f_y \times (d - d_b - a/2)$

$$= 785.398 \times 420 \times (115 - 10 - 12.936/2)$$

$$= 32.502 \text{ kN-m}$$

Lokasi Garis Netral (c) $= a / \beta_1$

$$= 12.936 / 0.8357$$

$$= 15.479 \text{ mm}$$

Regangan Tulangan Tarik (ϵ_s) $= (d - c) / c \times 0.003$

$$= (115 - 15.479) / 15.479 \times 0.003$$

$$= 0.019$$

Faktor Reduksi (ϕ) $= 0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 \times 0.25$

$$\leq 0.9$$

$$= 0.65 \leq 0.65 + (0.019 - 0.002) / 0.003 \times$$

$$0.25 \leq 0.9$$

$$= 0.900$$

Kapasitas Lentur Tereduksi (ϕM_n) $= \phi \times M_n$

$$= 0.900 \times 32.502$$

$$= 29.252 \text{ kN-m}$$

Momen Ultimit (M_u) $= 28.879 \text{ kN-m}$

Cek Kapasitas $= \phi M_n > M_u ?$

$$= 29.252 > 28.879 \text{ (OK)}$$

- 5 Tulangan Minimum (untuk Tumpuan Bawah dan Lapangan Atas, Arah X dan Y)

Spasi Tulangan (s)	= 100 mm
Spasi Maksimum (s _{max})	= 2 * h = 300 mm
Cek Spasi Maksimum	= 100 <= 300 (OK)
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan (n)	= b / s = 1000 / s (Analisis untuk per 1 m)
	= 10
Jarak Bersih Antar Tulangan	= s - d _b
	= 100 - 10 = 90 mm
Cek Jarak Bersih Jarak Bersih	= Jarak bersih >= d _b dan 25 mm
	= 90 >= 10 (OK)
Jumlah Lapis	= 2
As Pasang	= n x π/4 x d _b ²
	= 10 x π/4 x 10 ²
	= 785.398 mm ²
As _{min} (f _y < 420 MPa)	= 0.2% x b x h
	= 0.2% x 1000 x 150
	= 300 mm ²
As _{min} (f _y >= 420 MPa) : maximum dari (0.18% x 420 / f _y) x b x h dan 0.14 % x b x h	
	= (0.18% x 420 / f _y) x b x h
	= (0.18% x 420/420) x 1000 x 150
	= 270 mm ²
	= 0.14 % x b x h
	= 0.14 % x 1000 x 150
	= 210 mm ²
Digunakan 270 mm ²	
Cek As min	= As Pasang >= As min
	= 785.398 >= 270 (OK)

Selain menggunakan tulangan pokok masing-masing tulangan arah X dan Y, digunakan juga tulangan bagi yang mana spasi atau jarak antar tulangan akan menggunakan luas terbesar antara luas tulangan yang direduksi sebesar 80%.

6 Pengecekan Kapasitas Geser

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas Geser Beton}(V_c) &= 0.17 \times f_c^{0.5} \times b \times d \\
 &= 0.17 \times 30^{0.5} \times 1000 \times 115 \\
 &= 107080 \text{ N} \\
 &= 107.080 \text{ kN} \\
 \text{Faktor Reduksi}(\phi) &= 0.75 \\
 \text{Ambang Batas Geser Pelat} &= 0.5 \phi V_c \\
 &= 0.5 \times 0.75 \times 107.080 \\
 &= 40.155 \text{ kN} \\
 \text{Cek perlu Tulangan Geser Pelat} &= V_u > 0.5 \phi V_c \\
 &= 121.6 > 40.155 \text{ (Perlu)}
 \end{aligned}$$

7 Lendutan Pelat

- Kapasitas Retak Lentur

$$\begin{aligned}
 \text{Momen Inersia Pelat}(I_g) &= 1/12 \times 1000 \times h^3 \\
 &= 1/12 \times 1000 \times 150^3 \\
 &= 281250000 \text{ mm}^4 \\
 \text{Tegangan Retak}(f_r) &= 0.62 \sqrt{f_c'} \\
 &= 0.62 \sqrt{30} \\
 &= 3.396 \text{ Mpa} \\
 \text{Garis Netral}(y) &= h / 2 \\
 &= 150/2 \\
 &= 75 \text{ mm} \\
 \text{Kapasitas Retak Lentur}(M_{cr}) &= f_r \times I_g / y \\
 &= 3.396 \times 281250000 / 75 \\
 &= 12.735 \text{ kNm} \\
 \text{Momen Inersia Retak}(I_{cr}) &= 0.25 I_g
 \end{aligned}$$

$$= 0.25 \times 28125000$$

$$= 70312500 \text{ mm}^4$$

- Lendutan Arah Sumbu 1

$$M_{11} \text{ Max Akibat DL} = 2.775 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ Min Akibat DL} = -10.756 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ Max Akibat SIDL} = 1.447 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ Min Akibat SIDL} = -2.324 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ Max Akibat LL} = 3.501 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ Min Akibat LL} = 14.323 \text{ kNm}$$

$$M_a \text{ Lapangan (+)} = \sum M_{xx} \text{ Max} = 7.723 \text{ kNm}$$

$$M_a \text{ Tumpuan (-)} = \sum M_{xx} \text{ Min} = -27.403 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} / M_a \text{ Lapangan} = 1.649$$

$$M_{cr} / M_a \text{ Tumpuan} = 0.465$$

$$I_e \text{ Lapangan} = (M_{cr} / M_a)^3 I_g + [1 - (M_{cr} / M_a)^3] I_{cr} < I_g$$

$$= 281250000 \text{ mm}^4$$

$$I_e \text{ Tumpuan} = (M_{cr} / M_a)^3 I_g + [1 - (M_{cr} / M_a)^3] I_{cr} < I_g$$

$$= 91481981 \text{ mm}^4$$

$$I_e \text{ Rata-Rata} = 0.5 \times I_e \text{ Lapangan} + 0.5 \times I_e \text{ Tumpuan}$$

$$= 186365991 \text{ mm}^4$$

$$\text{Lendutan Seketika Akibat DL, } \delta_{i, DL} = 5 / 48 L^2 / (E_c \times I_g) \times [M_{lap} + 0.2 M_{tum}]$$

$$= 2.674 \text{ mm}$$

$$\text{Lendutan Seketika Akibat SIDL, } \delta_{i, SIDL} = 5 / 48 L^2 / (E_c \times I_g) \times [M_{lap} + 0.2 M_{tum}]$$

$$= 1.038 \text{ mm}$$

$$\text{Lendutan Seketika Akibat LL, } \delta_{i, LL} = 5 / 48 L^2 / (E_c \times I_g) \times [M_{lap} + 0.2 M_{tum}]$$

$$= 3.455 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat Lendutan Seketika LL} = L / 360$$

$$= 5000 / 360$$

$$= 13.889 \text{ mm}$$

Cek Lendutan Seketika Syarat = Lendutan Seketika Akibat LL, $\delta_{i,LL} \leq$

Lendutan Seketika LL (OK)

Faktor Jangka Panjang (λ) = $2 / (1 + 50 \times \rho')$
= $2 / (1 + 50 \times (\text{As Pasang} / (1000 \times d))$
= $2 / (1 + 50 \times (785.398 / (1000 \times 115)))$
= 1.491

Lendutan Jangka Panjang (Δ_{LT}) = $(\delta_{i,DL+SIDL}) \times \lambda + \delta_{i,LL}$
= $(2.674 + 1.038) \times 1.491 + 3.4555$
= 8.989

Syarat Lendutan Jangka Panjang $\rightarrow L / 240 = 20.833 \text{ mm}$

Cek Lendutan Jangka Panjang $\rightarrow \Delta_{LT} \leq$ Syarat lendutan jangka panjang
= $8.989 < 20.833$ (OK)

- Lendutan Arah Sumbu 2

M22 Max Akibat DL = 2.661 kNm

M22 Min Akibat DL = -8.991 kNm

M22 Max Akibat SIDL = 1.447 kNm

M22 Min Akibat SIDL = -3.756 kNm

M22 Max Akibat LL = 3.501 kNm

M22 Min Akibat LL = -11.354 kNm

Ma Lapangan (+) = $\sum M_{xx} \text{ Max} = 7.609 \text{ kNm}$

Ma Tumpuan (-) = $\sum M_{xx} \text{ Min} = -24.101 \text{ kNm}$

M_{cr} / M_a Lapangan = 1.674

M_{cr} / M_a Tumpuan = 0.528

I_e Lapangan = $(M_{cr} / M_a)^3 I_g + [1 - (M_{cr} / M_a)^3] I_{cr} < I_g$
= 281250000 mm^4

I_e Tumpuan = $(M_{cr} / M_a)^3 I_g + [1 - (M_{cr} / M_a)^3] I_{cr} < I_g$
= 101429618 mm^4

$$I_e \text{ Rata-Rata} = 0.5 \times I_e \text{ Lapangan} + 0.5 \times I_e \text{ Tumpuan}$$

$$= 191339809 \text{ mm}^4$$

$$\text{Lendutan Seketika Akibat DL, } \delta_{i, DL} = 5 / 48 L^2 / (E_c \times I_g) \times [M_{lap} + 0.2 M_{tum}]$$

$$= 2.358 \text{ mm}$$

$$\text{Lendutan Seketika Akibat SIDL, } \delta_{i, SIDL} = 5 / 48 L^2 / (E_c \times I_g) \times [M_{lap} + 0.2 M_{tum}]$$

$$= 1.162 \text{ mm}$$

$$\text{Lendutan Seketika Akibat LL, } \delta_{i, LL} = 5 / 48 L^2 / (E_c \times I_g) \times [M_{lap} + 0.2 M_{tum}]$$

$$= 3.052 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat Lendutan Seketika LL} = L / 360$$

$$= 5000 / 360$$

$$= 13.889 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Lendutan Seketika Syarat} = \text{Lendutan Seketika Akibat LL, } \delta_{i, LL} \leq$$

Lendutan Seketika LL (OK)

$$\text{Faktor Jangka Panjang } (\lambda) = 2 / (1 + 50 \times \rho')$$

$$= 2 / (1 + 50 \times (A_s \text{ Pasang} / (1000 \times d)))$$

$$= 2 / (1 + 50 \times (785.398 / (1000 \times 115)))$$

$$= 1.491$$

$$\text{Lendutan Jangka Panjang } (\Delta_{LT}) = (\delta_{i, DL} + \delta_{i, SIDL}) \times \lambda + \delta_{i, LL}$$

$$= (2.674 + 1.038) \times 1.491 + 3.4555$$

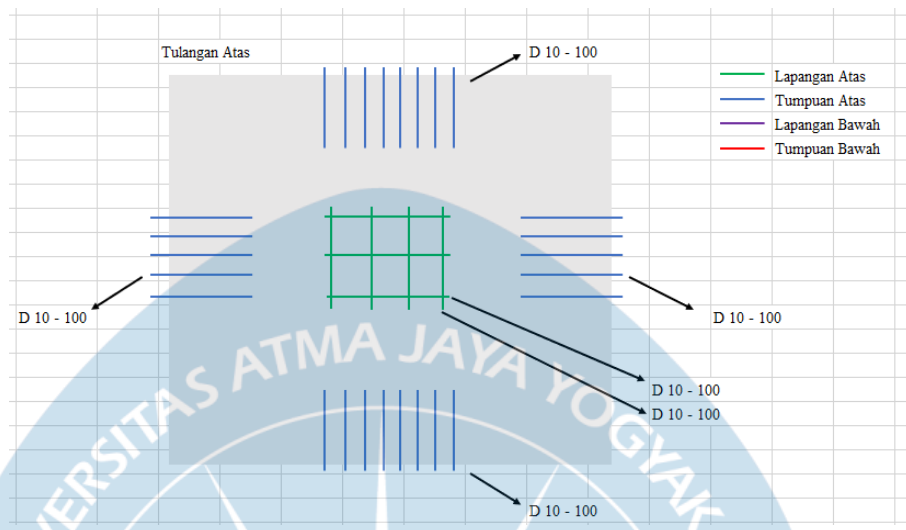
$$= 8.989$$

$$\text{Syarat Lendutan Jangka Panjang} \rightarrow L / 240 = 20.833 \text{ mm}$$

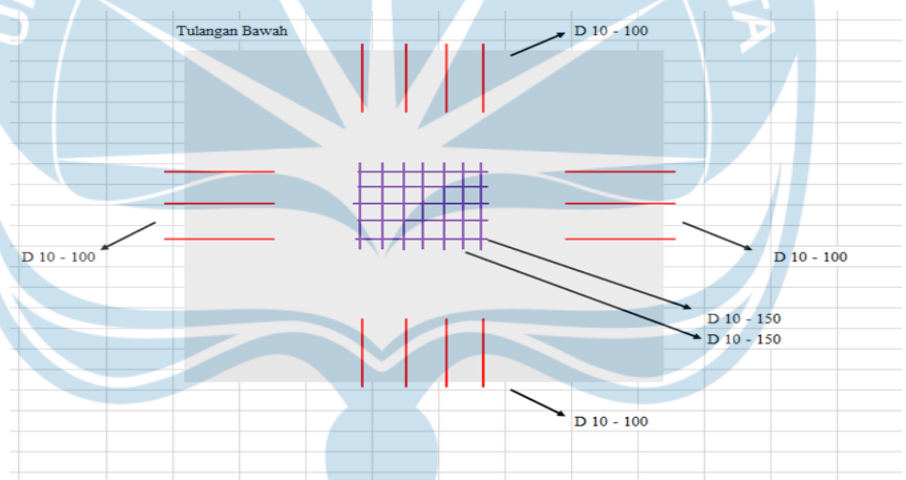
$$\text{Cek Lendutan Jangka Panjang} \rightarrow \Delta_{LT} \leq \text{Syarat lendutan jangka panjang}$$

$$= 8.989 < 20.833 \text{ (OK)}$$

Dari perencanaan luas dan spasi tulangan, digunakan plat tipe II dengan diameter tulangan adalah 10 mm. Hasil perencanaan pelat lantai dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2. 14 Penulangan Pelat



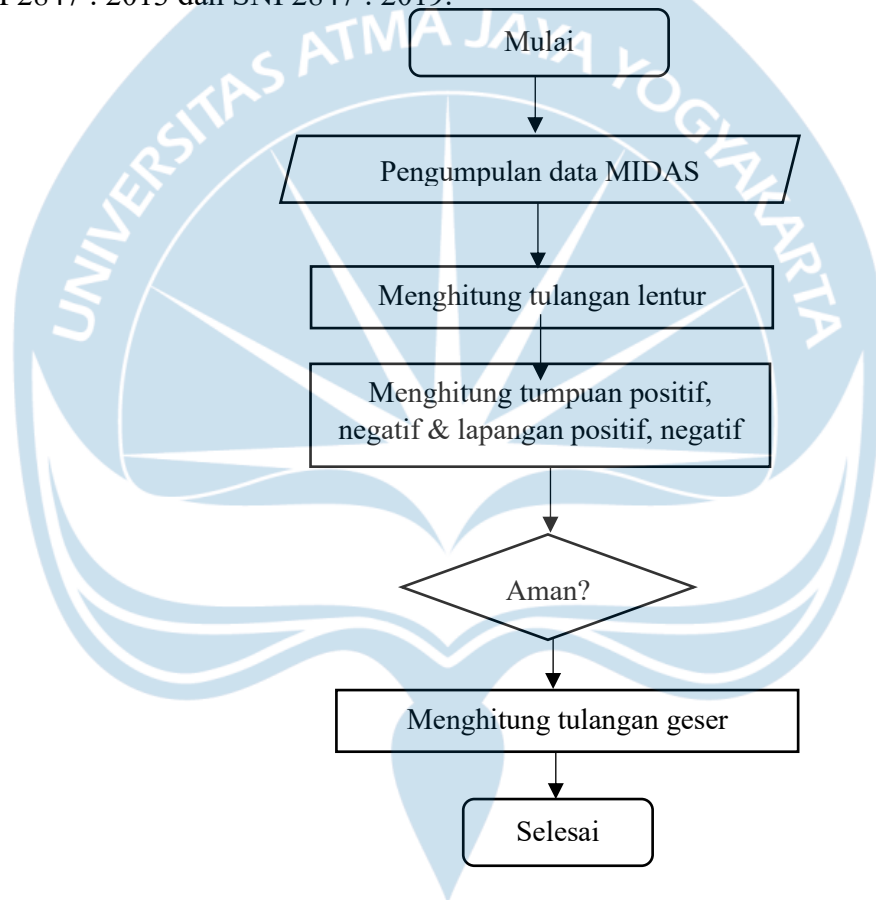
Gambar 2. 15 Penulangan Pelat

2.8 Perancangan Balok

Balok merupakan elemen penting dalam sebuah struktur, Fungsi utama balok adalah memberikan kekuatan struktural pada bangunan, mendukung beban, dan menjaga stabilitas. Balok juga digunakan sebagai elemen penyimpanan, dalam transportasi, sebagai permainan anak-anak, dan sebagai elemen dekoratif. Mereka digunakan dalam konstruksi bangunan, jembatan, rel kereta, rak penyimpanan, mainan, serta sebagai aksesoris dekoratif dalam desain interior dan eksterior. Perencanaan balok yang akan digunakan pada gedung kampus UNS itu menggunakan

bantuan software yaitu aplikasi MIDAS GEN, dimana aplikasi MIDAS GEN ini berfungsi sebagai penentuan tulangan balok yang akan digunakan untuk struktur bangunan. Perhitungan yang dilakukan pada perencanaan tulangan balok yaitu perhitungan tulangan tumpuan dan juga tulangan lapangan balok agar balok aman dan kuat untuk menahan beban yang diterima dari bangunan itu sendiri.

Perhitungan penulangan lentur ini menggunakan berpacuan pada pedoman SNI 2847 : 2013 dan SNI 2847 : 2019.



Gambar 2. 16 Diagram Alir Perencanaan Balok

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk balok semua type :

2.8.1 Balok Induk (400 x 600)

1. Data Balok

Panjang Balok, L	= 5000 mm
Lebar Balok, b	= 400 mm
Tinggi Balok, h	= 600 mm

Panjang Tumpuan $2 \times h$	= 1200 mm
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b	= 22 mm
Diameter Tulangan Pinggang, d_{bt}	= 16 mm
Diameter Tulangan Sengkang, d_s	= 10 mm
Selimut Bersih, c_c	= 40 mm
Tinggi Efektif Beton, d	= $\frac{h - c_c - d_s - d_b}{2} = 264$ mm
Kuat Tekan Beton, F_c'	= 50 MPa
Kuat Leleh Tulangan Longitudinal, f_y	= 420 MPa
Kuat Leleh Tulangan Transversal, f_y	= 420 MPa
β_1	= $0,65 \leq 0,85 - 0,05 \times \frac{f_{cr} - 28}{7} \leq 0,85$ = 0,85
Panjang Kolom, C_1	= 500 mm
Panjang Kolom, C_2	= 500 mm
L_n	= $L - C_1 = 4500$ mm
λ	= 1

2. Penulangan Lentur

Penulangan lentur perlu diperhitungkan karena penulangan lentur sangat penting untuk menahan beban yang terjadi yaitu momen lentur pada balok itu sendiri. Untuk dapat menghitung penulangan lentur ini, pertama kita yang harus dilakukan adalah mengumpulkan data dari software MIDAS yang dipakai untuk analisis balok, setelah mendapatkan nilai gaya dalamnya maka bisa dilanjutkan dengan menghitung momen lentur yang terjadi pada balok menghitung kekuatan lentur tulangan serta menghitung jumlah tulangan lentur. Untuk perhitungan lebih detailnya dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini :

a) Gaya Dalam

M_u , tumpuan (-)	= -91.1 kNm
M_u , tumpuan (+)	= 80.25 kNm
M_u , lapangan (-)	= -57.68 kNm
M_u , lapangan (+)	= 77.91 kNm

b) Syarat Gaya dan Geometri

$$\text{Syarat Gaya Aksial} = P_u \leq 0.1 A_g f_c' \text{ (OK)}$$

$$\text{Syarat Tinggi Efektif} = L_n \geq 4d \text{ (OK)}$$

$$\text{Syarat Lebar 1} = b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm}) \text{ (OK)}$$

$$\text{Syarat Lebar 2} = b \leq c_2 + 2 * \min(c_2, 0.75 c_1) \text{ (OK)}$$

c. Penulangan Lentur

Tumpuan Negatif

Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, $n = 4$

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 70.667 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Jarak Bersih} = \text{Jarak bersih} \geq 22 \text{ dan } 25 \text{ mm (OK)}$$

$$\text{Jumlah Lapis} = 1$$

$$\text{As Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 1520.531 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min,1} = \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 702.911 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min,2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 718.667 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek As}_{\min} = \text{As Pasang} \geq \text{As}_{\min} \text{ (OK)}$$

$$\rho = \frac{\text{As}}{b \times d} = 0.71 \%$$

$$\rho_{\max,1} = 0,75 \rho_b = \frac{0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 2.24\%$$

$$\rho_{\max,2} = 2,50 \%$$

$$\text{Cek As}_{\max} = \rho \leq \rho_{\max} \text{ (OK)}$$

Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{\text{As} \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b} = 62.610 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan digunakan faktor reduksi kekuatan (ϕ) yaitu dengan nilai 0,9. Dengan nilai 0,9 balok direncanakan dapat menahan momen lentur yang akan bekerja pada struktur.

$$M_n = \text{As} \times f_y \times \frac{d-a}{2} = 324.226 \text{ kN-m}$$

Sesuai dengan pedoman SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai ϕM_n yang diisyaratkan harus lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok tersebut.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 74.918 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d - c)}{c \times 0.003} = 0,019$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0.002)}{0.003 \times 0,25} \leq 0,9 = 0,900$$

Sesuai dengan pedoman SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai ϕM_n yang diisyaratkan harus lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok tersebut.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 291.803 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$M_{u, \text{ tumpuan (-)}} = 91.100 \text{ kN-m}$$

$$\text{Cek Kapasitas} = \phi M_n > M_u \text{ (OK)}$$

$$\text{As Perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}} = 427.234 \text{ mm}^2$$

Tumpuan Positif

Jumlah Tulangan Positif Tumpuan, $n=4$

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 70.667 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Jarak Bersih} = \text{Jarak bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm (OK)}$$

Jumlah Lapis = 1

$$\begin{aligned} \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 1520.531 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{S \text{ min},1} = \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 702.911 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ min},2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 718.667 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ min},3} = 0,5 \times \text{As Tumpuan Negatif} = 760.265 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek } A_{S \text{ min}} = \text{As Pasang} \geq A_{S \text{ min}} \text{ (OK)}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = 0.71 \%$$

$$\rho_{\max,1} = 0,75 \rho_b = \frac{0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 2.24 \%$$

$$\rho_{\max,2} = 2,50 \%$$

$$\text{Cek } A_s \text{ max} = \rho \leq \rho \text{ max (OK)}$$

Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b} = 62.610 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan digunakan faktor reduksi kekuatan (ϕ) yaitu dengan nilai 0,9.

$$M_n = A_s \times f_y \times \frac{d-a}{2} = 324.226 \text{ kN-m}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 74.918 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d-c)}{c \times 0.003} = 0,019$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0.002)}{0.003 \times 0,25} \leq 0,9 = 0,900$$

Sesuai dengan pedoman SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai ϕM_n yang diisyaratkan harus lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok tersebut.

$$\phi M_n = \phi \times M_n = 291.803 \text{ kN-m}$$

$$M_u = 80.250 \text{ kN-m}$$

$$\text{Cek Kapasitas} = \phi M_n > M_u \text{ (OK)}$$

$$A_s \text{ Perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}} = 376.351 \text{ mm}^2$$

Lapangan Negatif

Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n= 4

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 70.667 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Jarak Bersih} = \text{Jarak bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm (OK)}$$

$$\text{Jumlah Lapis} = 1$$

$$\text{As Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= 1520.531 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min,1} = \sqrt{\frac{(f_c r)}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 702.911 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min,2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 718.667 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min,3} = 0,5 \times \text{As Tumpuan Negatif} = 760.265 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek As}_{\min} = \text{As Pasang} \geq \text{As}_{\min} \text{ (OK)}$$

$$\rho = \frac{\text{As}}{b \times d} = 0,71 \%$$

$$\rho_{\max,1} = 0,75 \rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c r}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 2,24\%$$

$$\rho_{\max,2} = 2,50 \%$$

$$\text{Cek As}_{\max} = \rho \leq \rho_{\max} \text{ (OK)}$$

Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{\text{As} \times f_y}{0,85 \times f_c r \times b}$$

$$= 62.610 \text{ mm}$$

Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) digunakan nilai faktor reduksi kekuatan (ϕ) sebesar 0,9.

$$\phi M_n = \phi \times \text{As} \times f_y \times \frac{d-a}{2}$$

$$= 324.226 \text{ kN-m}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 74.918 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d-c)}{c \times 0.003} = 0,019$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0.002)}{0.003 \times 0,25} \leq 0,9$$

$$= 0,900$$

Berdasarkan SNI 2847:2019, nilai ϕM_n diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 291.803 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

$$M_u = 57.803 \text{ kN-m}$$

$$\text{Cek Kapasitas} = \phi M_n > M_u \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned}\text{As Perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}} \\ &= 270.504 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Lapangan Positif

Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, $n=4$

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 70.667 \text{ mm}$$

Cek Jarak Bersih = Jarak bersih $\geq d_b$ dan 25 mm (OK)

Jumlah Lapis = 1

$$\begin{aligned}\text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 1520.531 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_{S \text{ min},1} = \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 702.911 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ min},2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 718.667 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ min},3} = 0,5 \times \text{As Tumpuan Negatif} = 760.265 \text{ mm}^2$$

Cek $A_{S \text{ min}}$ = As Pasang $\geq A_{S \text{ min}}$ (OK)

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = 0.71 \%$$

$$\rho_{\text{max},1} = 0,75 \rho_b = \frac{0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 2.24\%$$

$$\rho_{\text{max},2} = 2,50 \%$$

Cek As max = $\rho \leq \rho \text{ max}$ (OK)

Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b}$$

$$= 62.610 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai ϕM_n diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$M_n = A_s \times f_y \times \frac{d-a}{2}$$

$$= 324.226 \text{ kN-m}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 74.918 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d-c)}{c \times 0.003} = 0,007$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0.002)}{0.003 \times 0,25} \leq 0,9$$

$$= 0,900$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

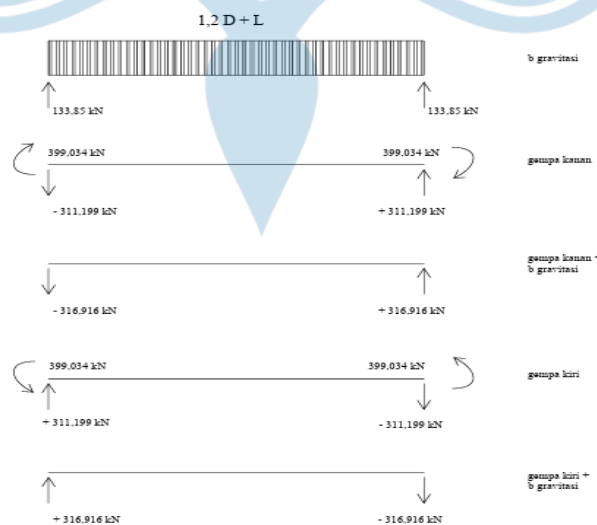
$$= 291.803 \text{ kN-m}$$

$$M_u = 77.910 \text{ kN-m}$$

Cek Kapasitas = $\phi M_n > M_u$ (OK)

$$\text{As Perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}}$$

$$= 365.377 \text{ mm}^2$$



Gambar 2. 17 Desain Gaya Geser Balok Induk

3. Penulangan Geser

Tulangan geser merupakan tulangan yang berfungsi dalam menahan gaya geser sehingga mencegah terjadinya dan penjaralan dari keretakan sehingga tidak menerus ke bagian tekan beton. Pada perhitungan dibawah ini, hal yang dilakukan pertama adalah mengumpulkan data dari software MIDAS yang dipakai untuk analisis balok, setelah mendapatkan nilai gaya dalamnya maka bisa dilanjutkan dengan menghitung jumlah dan ukuran tulangan geser yang mana ditentukan berdasarkan kebutuhan gaya geser dan kekuatan geser tulangan. Perhitungan untuk penulangan geser dapat dilihat pada hitungan dibawah ini :

a) Gaya Dalam

$$V_{u,tumpuan} = 173.1 \text{ kN}$$

$$V_{u,lapangan} = 171.57 \text{ kN}$$

b) Gaya Desain

$$V_{g,tumpuan} = 133.85 \text{ kN}$$

$$A_s^+ \text{ Tumpuan} = 1520.531 \text{ mm}^2 \text{ (As pasang tumpuan +)}$$

$$A_s^- \text{ Tumpuan} = 1520.531 \text{ mm}^2 \text{ (As pasang tumpuan -)}$$

$$a_{pr}^+ = 1,25 \times a \text{ (a tumpuan +)}$$

$$= 78.263 \text{ mm}$$

$$a_{pr}^- = 1,25 \times a \text{ (a tumpuan +)}$$

$$= 78.263 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^+ = A_s^+ \times (1,25 f_y) \times \frac{d - a_{pr}^+}{b \times d}$$

$$= 399034526 \text{ N-mm}$$

$$M_{pr}^- = A_s^- \times (1,25 f_y) \times \frac{d - a_{pr}^-}{b \times d}$$

$$= 399034526 \text{ N-mm}$$

$$V_{sway} \text{ atau } V_{pr} = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{Ln}$$

$$= 177349 \text{ N}$$

$$V_e = V_g + V_{pr}$$

$$= 311199 \text{ N}$$

Tahanan Geser Beton

$$V_{pr} = 177349 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \times V_e = 155599 \text{ N}$$

$$\frac{A_g f_c'}{20} = 360000 \text{ N}$$

Penulangan Geser

$$\text{Jumlah Kaki} = 2$$

$$A_v = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$$

$$= 157.080 \text{ mm}^2$$

$$\text{Spasi} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Max 1} = \frac{d}{4}$$

$$= 134.75 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Max 2} = 6 \cdot d_b$$

$$= 132 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Max 3} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Spasi} = \text{OK}$$

$$V_s = A_v \times f_y \times \frac{d}{s}$$

$$= 711194 \text{ N}$$

$$\text{Batas } V_s = 0,06 \times f_c'^{0.5} \times b \times d$$

$$= 779387 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 711194 \text{ N}$$

$$V_u = 311199 \text{ N}$$

$$\phi V_n / V_u = 1,714$$

Cek Kapasitas $\phi V_n / V_u \geq 1$ (OK)

c) Lapangan

Penulangan Geser

$$\text{Jumlah Kaki} = 2$$

$$A_v = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$$

$$= 157.080 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
\text{Spasi} &= 100 \text{ mm} \\
\text{Spasi Max} &= \frac{d}{2} \\
&= 269.50 \text{ mm} \\
\text{Cek Spasi} &= \text{OK} \\
V_s &= A_v \times f_y \times \frac{d}{s} \\
&= 355597 \text{ N} \\
\text{Batas } V_s &= 0,06 \times f'c^{0,5} \times b \times d \\
&= 779387 \text{ N} \\
V_c &= 0,17 \times f'c^{0,5} \times b \times d = 200751 \text{ N} \\
\phi &= 0,75 \\
V_n &= V_c + V_s = 556348 \text{ N} \\
V_u &= 171570 \text{ N} \\
\phi V_n / V_u &= 2.432 \\
\text{Cek Kapasitas } \phi V_n / V_u &\geq 1 \text{ (OK)}
\end{aligned}$$

2.8.2 Rekap Penulangan Balok

Tabel 2. 20 Kesimpulan dari penulangan balok

Kesimpulan Balok Induk Type 1	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	4 D22
Longitudinal Tumpuan Tengah	2 D16
Longitudinal Tumpuan Bawah	4 D22
Longitudinal Lapangan Atas	4 D22
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D16
Longitudinal Lapangan Bawah	4 D22

Tabel 2. 19 Lanjutan Kesimpulan dari penulangan balok

Tulangan Tranversal/Senggang	
Senggang Tumpuan	2D10-50
Senggang Lapangan	2D10-100
Balok Induk Type 2	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	5 D22
Longitudinal Tumpuan Tengah	2 D13
Longitudinal Tumpuan Bawah	3 D22
Longitudinal Lapangan Atas	3 D22
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D13
Longitudinal Lapangan Bawah	4 D22
Tulangan Tranversal/Senggang	
Senggang Tumpuan	2D10-50
Senggang Lapangan	2D10-100
Balok Induk Type 3	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	6 D22
Longitudinal Tumpuan Tengah	2 D16
Longitudinal Tumpuan Bawah	3 D22
Longitudinal Lapangan Atas	3 D22
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D16
Longitudinal Lapangan Bawah	5 D22
Tulangan Transversal/Senggang	

Tabel 2. 19 Lanjutan Kesimpulan dari penulangan balok

Sengkang Tumpuan	2D10-50
Sengkang Lapangan	2D10-100
Balok Induk Type 4	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	2 D22
Longitudinal Tumpuan Tengah	2 D13
Longitudinal Tumpuan Bawah	2 D22
Longitudinal Lapangan Atas	2 D22
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D13
Longitudinal Lapangan Bawah	2 D22
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D10-50
Sengkang Lapangan	2D10-100
Balok Anak	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	2 D19
Longitudinal Tumpuan Tengah	2 D13
Longitudinal Tumpuan Bawah	2 D19
Longitudinal Lapangan Atas	2 D19
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D13
Longitudinal Lapangan Bawah	2 D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D10-50
Sengkang Lapangan	2D10-100

2.9 Perancangan Kolom

Kolom adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang penting dan memiliki fungsi untuk menyangga beban bena dari balok dan pelat kemudian kan diteruskan ke tanah melalui pondasi. kekuatan kolom dalam memikul beban didasarkan pada kemampuannya memikul kombinasi beban aksial (P_u) dan momen (M_u) secara bersamaan. Oleh karena itu, perencanaan kolom suatu struktur bangunan didasarkan pada kekuatan dan kekakuan penampang lintangnya terhadap aksi beban aksial dan momen lentur. Dalam merencanakan kolom, dimensi kolom perlu dilakukan pemeriksaan kelangsingan serta syarat lainnya. Dari dimensi tersebut, baru dapat dilanjutkan ke perencanaan penulangan kolom yang terdiri atas perencanaan penulangan longitudinal dan transversal..Ada beberapa data yang diketahui dalam perencanaan kolom yang dapat dilihat pada tabel 2.20.

Tabel 2. 21 Data Perancangan Kolom

Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
Panjang/Tinggi Kolom, L	4000	mm	
Lebae kolom, b	500	Mm	
Panjang Kolom, h	500	Mm	
Diameter Tulangan Longitudinal, db	22	Mm	
Diameter Tulangan Sengkang, ds	10	Mm	
Selimit Beton, Cc	40	mm	
Kuat Tekan Beton, f'_c	30	Mpa	
Kuat Leleh Tul.Longitudinal, f_y	420	Mpa	
Kuat Leleh Tul.Tranversal, f_{yv}	420	Mpa	
Tinggi Balok, hb	600	mm	
Ln	$L-hb = 4000-600$ $= 3400$	mm	

Untuk awal dimensi kolom adalah asumsi awal dan untuk diameter tulangan longitudinal dan tranversal adalah asumsi awal bergantung pada tria-and-eror pada aplikasi spColumn. Dari asumsi awal dimensi kolom tersebut, akan dilakukan pengecekan terhadap dimensi kolom sesuai syarat dimensi kolom dalam SNI

2847:2019 dan SNI 2847:2013 dimana dalam pasal tersebut disebutkan beberapa syarat seperti yang tertera pada tebal 2.21

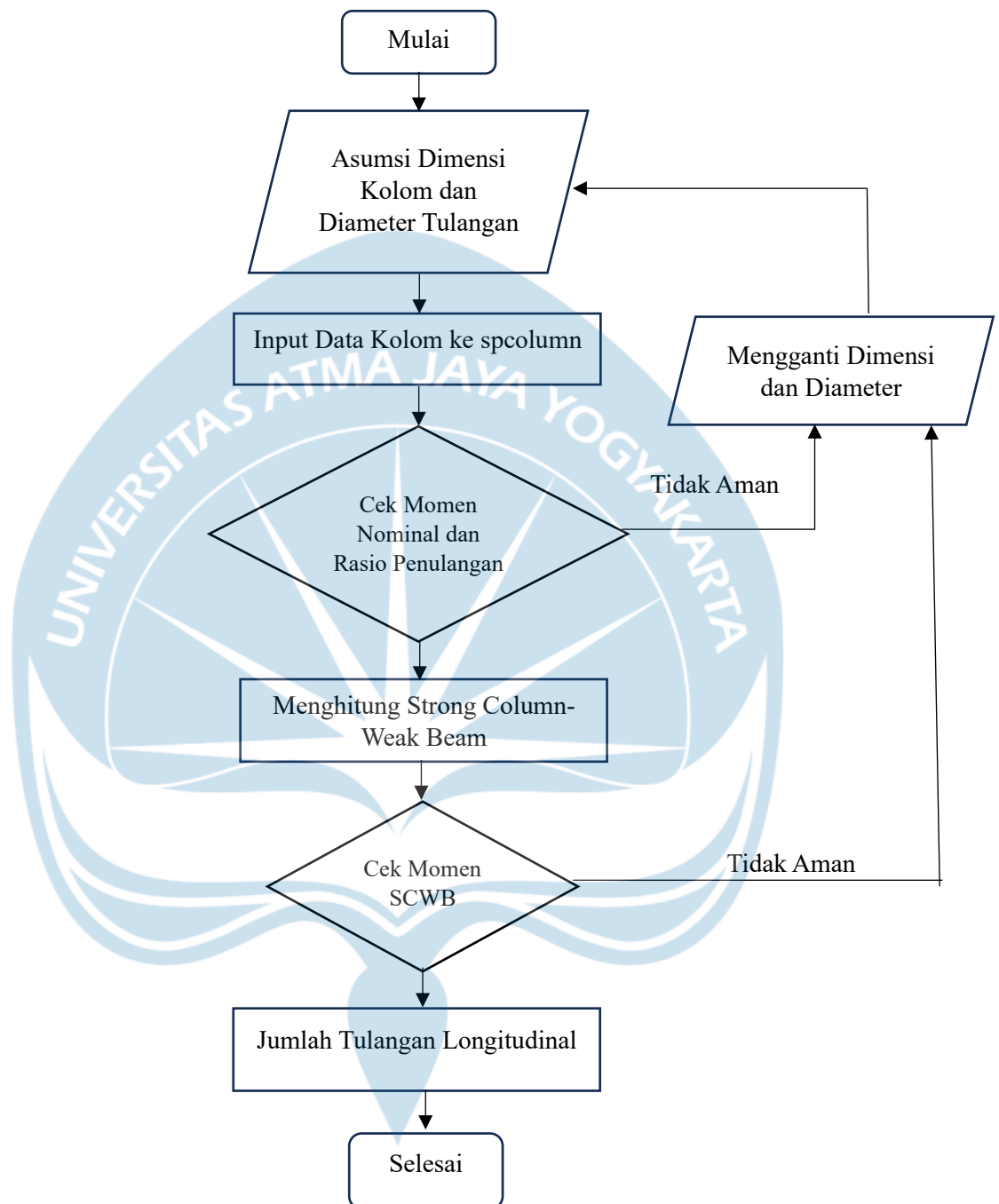
Tabel 2. 22 Syarat Gaya dan Geometri

Syarat Gaya dan Geometri				
Syarat	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019	Persamaan	Nilai
Syarat Gaya Aksial	21.6.1	Tidak dipersyaratkan. Baca R18.7.1	$P_u > 0.1 A_g f'_c ?$	OK
Syarat Sisi Terpendek	21.6.1.1	18.7.2.1	$b \geq 300 \text{ mm} ?$	OK
Syarat Rasio Dimensi Penampang	21.6.1.2	18.7.2.1	$b/h \geq 0.4 ?$	OK

Berdasarkan tabel 2.21 disebutkan bahwa syarat dimensi penampang kolom tidak kurang dari 300 serta rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0,4 ($b/h > 0,4$), berdasarkan asumsi dimensi kolom 500 x 500 mm, maka dapat disimpulkan bahwa dimensi kolom tersebut telah memenuhi persyaratan.

1. Perencanaan Tulangan Longitudinal Kolom

Setelah melakukan pengecekan dimensi kolom sesuai persyaratan selanjutnya yaitu perencanaan tulangan longitudinal pada kolom. Tulangan Longitudinal berfungsi sebagai penahan beban aksial dan momen lentur yang terjadi akibat pembebanan. Tahap perencanaan tulangan longitudinal dapat dilihat pada gambar 2.16



Gambar 2. 18 Diagram Alir Perencanaan Penulangan Longitudinal

Beban-beban yang terjadi atau bekerja pada kolom biasanya berupa beban kombinasi antara beban aksial dan momen lentur. Besar beban aksial dan momen lentur yang dapat ditahan oleh kolom tergantung pada dimensi kolom. Beban pada penampang kolom yang didapatkan dari hasil output MIDAS GEN kolom dapat dilihat pada tabel 2.22

Tabel 2. 23 Gaya Dalam Kolom

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	1287.78	232.876	60.784
P min	3856.380	-784.900	282.677
M2 Max	356.087	1194.668	381.122
M2 Min	-2876.280	-1203.771	413.542
M3 Max	-413.970	297.964	567.723
M3 Min	-834.290	-378.122	-524.093

Dari data diatas dapat dilihat ada 6 kondisi beban dan momen yang akan digunakan dalam pemodelan diagram interaksi kolom. Pada perencanaan ini, diagram interaksi kolom dimodelkan dengan bantuan software yaitu spColumn. Pada software spColumn ada beberapa data yang diinputkan yaitu dimensi kolom 500 x 500 mm, diameter tulangan lentur 22 mm. Setelah diinput pada spColumn didapatkan hasil bahwa semua kondisi pembebanan yang diinputkan dapat ditahan. Selanjutnya yaitu melakukan cek momen nominal dan rasio penulangan.

a) Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan SP Column)

$$\text{Jumlah Tulangan, } n = 20$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Tulangan Longitudinal, } A_s &= n \times \frac{d_s^2}{s} \times d_b^2 \\ &= 7602.7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio Tulangan, } \rho &= \frac{A_s}{b \times h} \\ &= 3.04\% \end{aligned}$$

Cek ρ_{\min} dan ρ_{\max} , dengan syarat $1\% \leq \rho \leq 6\%$ (OK)

b) Pengecekan *Strong Column - Weak Beam* (SCWB)

$$\text{Momen Nominal Kolom, } M_{nc} = 337.877 \text{ kN-m}$$

$$M_n^- \text{ Tumpuan Balok} = 177.486 \text{ kN-m}$$

$$M_n^+ \text{ Tumpuan Balok} = 177.486 \text{ kN-m}$$

Cek syarat, yaitu $2 \times M_{nc} \geq 1.2 \times (M_n^- + M_n^+)$ (OK)

Dari hasil pengecekan diatas, diketahui bahwa kolom yang direncanakan sudah memenuhi syarat dengan konsep SCWB yaitu nilai $2 \times M_{nc} \geq 1.2 \times (M_n^- + M_n^+)$, sehingga dapat disimpulkan bahwa desain dimensi dan diameter kolom dan penulangan longitudinal yang direncanakan aman dan dapat digunakan.

2. Perencanaan Tulangan Transversal Kolom

Setelah mendapatkan detail penulangan longitudinal langkah selanjutnya yaitu melakukan perencanaan tulangan transversal kolom. Penulangan transversal ini berfungsi untuk membantu beton menahan gaya geser yang terjadi akibat pembebanan. Pada struktur kolom, penulangan transversal dibagi menjadi penulangan pada daerah sendi plastis dan pada daerah di luar sendi plastis. Dimana daerah yang berada pada sendi plastis terletak pada ujung kolom yang berhubungan dengan balok, sedangkan daerah di luar sendi plastis adalah Panjang kolom antara sendi plastis. Berikut merupakan data yang diketahui untuk perhitungan tulangan transversal.

$$\text{Panjang atau Tinggi Kolom, } L = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Sisi Pendek Kolom, } b = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Sisi Panjang Kolom, } h = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Tulangan Longitudinal, } d_b = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Tulangan Sengkang, } d_s = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Bersih, } c_c = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat Tekan Beton, } f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat Leleh Baja Tulangan, } f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Tinggi Balok, } h_b = 600 \text{ mm}$$

$$L_n = 3400 \text{ mm}$$

Setelah mengetahui dan menentukan data yang akan digunakan untuk perhitungan tulangan transversal yaitu menghitung Panjang zona sendi plastis dan luar plastis

serta merencanakan penulangan yang dapat digunakan agar aman seperti yang dijelaskan dibawah ini :

a) Panjang Zona Sendi Plastis

$$l_{o1} = h = 500 \text{ mm}$$

$$l_{o2} = \frac{l_n}{6} = 566.7$$

$$l_{o3} = 450 \text{ mm}$$

$$l_o = \text{Max} (l_{o1}; l_{o2}; l_{o3}) \\ = 566.7$$

b) Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis atau Tumpuan

$$\text{Jumlah Kaki Sisi Pendek, } n_1 = 6$$

$$\text{Jumlah Kaki Sisi Panjang, } n_2 = 6$$

$$\text{Spasi, } s = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Kaki Terbesar, } x_i \text{ max} = 300 \text{ mm}$$

$$A_{sh \ 1} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 471.239 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \ 2} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 471.239 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh /s, \ 1} = 9.425 \text{ mm}$$

$$A_{sh /s, \ 2} = 9.425 \text{ mm}$$

c) *Confinement* atau Kekangan Zona Sendi Plastis

$$\text{Lebar Penampang Inti Beton, } b_c = b - 2c_c = 420 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang Penampang Inti Beton, } h_c = h - 2c_c = 420 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Penampang Kolom, } A_g = b \times h = 250000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas Penampang Inti Beton, } A_{ch} = b_c \times h_c = 176400 \text{ mm}^2$$

Sisi Pendek atau Sumbu Lemah

$$A_{sh /s, \ \text{min}, \ 1} = 0.3 (b_c \times f_c' / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1) \\ = 3,755 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh /s, \ \text{min}, \ 2} = 0.09 \times b_c \times f_c' / f_y \\ = 2,700 \text{ mm}$$

Cek syarat, $A_{sh /s \ 1} = A_{sh /s \ 1} \geq A_{sh /s \ \text{min}}$ (OK)

Sisi Panjang atau Sumbu Kuat

$$A_{sh}/s \text{ min, 1} = 0.3 (bc * f_c' / f_y) * (A_g / A_{sh} - 1) \\ = 3,755 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh}/s \text{ min, 2} = 0.09 * h_c * f_c' / f_y \\ = 2.700 \text{ mm}^2$$

Cek syarat, $A_{sh}/s \geq A_{sh}/s \text{ min}$ (OK)

Cek Spasi

$$S_{max,1} = \frac{b}{4} = 125 \text{ mm}$$

$$S_{max,2} = 6 \times d_h = 132 \text{ mm}$$

$$h_x = X_{i \text{ max}} = 300 \text{ mm}$$

$$S_{max,3} = s_o = 100 \leq 100 + (350 - h_x) / 3 \leq 150 = 116,667 \text{ mm}$$

$$S_{max} = \text{Min} (S_{max1}, S_{max2}, S_{max3}) = 116,667 \text{ mm}$$

Cek Spasi, (OK)

d) Kuat Geser Zona Sendi Plastis

Gaya Geser Desain

$$M_{pr} \text{ Kolom} = \text{Di ambil nilai terbesar dari pengecekan SCWB} \\ = 364.810 \text{ kN-m}$$

$$V_{u1} = 2 \times \frac{M_{pr \text{ kolom}}}{L_n} \\ = 214594 \text{ N}$$

Gaya Geser Hasil Analisis Struktur

$$V_{u2, \text{ Sumbu Lemah}} = 62250 \text{ N}$$

$$V_{u2, \text{ Sumbu Kuat}} = 81710 \text{ N}$$

Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u, \text{ nilai Max dari } V_{u1}, V_{u2} = 214594 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d$$

$$d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 204383 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \frac{V_u}{\phi - V_c}$$

$$= 81743 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 0.4433 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} \times \frac{h}{f_y}$$

$$= 0,4043 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = \frac{0,35 \times h}{f_y}$$

$$= 0,4 \text{ mm}$$

Cek syarat, $A_s/s \text{ 1} \geq \max (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min})$ (OK)

Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u, \text{ nilai Max dari } V_{u1}, V_{u2} = 214594 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d$$

$$; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 204383 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \frac{V_u}{\phi - V_c}$$

$$= 81743 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 0.4433 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} \times \frac{h}{f_y}$$

$$= 0,4043 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = \frac{0,35 \times h}{f_y}$$

$$= 0,4 \text{ mm}$$

Cek syarat, $A_s/s \text{ 1} \geq \max (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min})$ (OK)

e) Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis atau Tumpuan

Jumlah Kaki Sisi Pendek, $n_1 = 2$

Jumlah Kaki Sisi Panjang, $n_2 = 2$

Spasi, $s = 100 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_v \text{ Sumbu Lemah} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 157.080 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v \text{ Sumbu Kuat} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 157.080 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

f) *Confinement* atau Kekangan Luar Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned} \text{Spasi max 1} &= 6 \times d_b \\ &= 132 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi max 2} &= 150 \text{ mm} \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat, Spasi = Spasi \leq Spasi Max (OK)

g) Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis

Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u = 199133 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d \\ ;d &= b - c_c - d_s - d_b / 2 \\ &= 204383 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ Perlu} &= \frac{V_s}{(f_y v * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2} \\ &= 61128 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s/s \text{ Perlu} &= V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2 \\ &= 0.3315 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s/s \text{ Min 1} &= 0.062 (f_c')^{0.5} \times \frac{h}{f_y} \\ &= 0,4043 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = \frac{0,35 \times h}{f_y}$$

$$= 0,4 \text{ mm}$$

Cek syarat, $A_s/s = A_v/s \geq A_v/s \text{ Perlu}$ (OK)

Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u = 321446$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0,17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0,5} h d$$

$$; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 204383 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \frac{V_u - V_c}{\phi (f_y v * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2}$$

$$= 224212 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 1,2160 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0,062 (f_c')^{0,5} \times \frac{h}{f_y}$$

$$= 0,4043 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = \frac{0,35 \times h}{f_y}$$

$$= 0,4 \text{ mm}$$

Cek syarat, $A_s/s = A_v/s \geq A_v/s \text{ Perlu}$ (OK)

Setelah melakukan perhitungan dan pengecekan semua syarat, dapat disimpulkan penulangan dan syarat yang digunakan untuk balok type 1, yang dapat dilihat pada tabel 2.23.

Tabel 2. 24 Penulangan Kolom

Kesimpulan	
Syarat dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK

Tabel 2. 23 Lanjutan Penulangan Kolom

Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	20 D22
Tulangan Transversal/Senggang Tumpuan	
Sumbu Lemah	6D10-50
Sumbu Kuat	6D10-50
Tulangan Transversal/Senggang Lapangan	
Sumbu Lemah	2D10-100
Sumbu Kuat	2D10-100

Lakukan perhitungan dengan syarat dan cara yang sama untuk semua jenis kolom, setelah dilakukan perhitungan dan penginputan data pada spColumn serta direncanakan penulangan longitudinal dan transversal didapatkan hasil rekap untuk semua penulangan kolom yang dapat dilihat pada tabel 2.24.

Tabel 2. 24 Rekap Penulangan Kolom

Kesimpulan Kolom Type 2	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	20 D22
Tulangan Transversal/Senggang Tumpuan	
Sumbu Lemah	6D10-50

Tabel 2. 24 Lanjutan Rekap Penulangan Kolom

Sumbu Kuat	6D10-50
Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan	
Sumbu Lemah	2D10-100
Sumbu Kuat	2D10-100
Kesimpulan Kolom Type 3	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	20 D22
Tulangan Tranversal/Sengkang Tumpuan	
Sumbu Lemah	6D10-50
Sumbu Kuat	6D10-50
Tulangan Tranversal/Sengkang Lapangan	
Sumbu Lemah	2D10-100
Sumbu Kuat	2D10-100
Kesimpulan Kolom Type 4	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	

Tabel 2. 24 Lanjutan Rekap Penulangan Kolom

Longitudinal	16 D22
Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan	
Sumbu Lemah	4D10-50
Sumbu Kuat	4D10-50
Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan	
Sumbu Lemah	2D10-100
Sumbu Kuat	2D10-100

